



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

BIOPLYNOVÉ STANICE PŘIPOJENÉ DO ROZVODŮ ZEMNÍHO PLYNU

BIOGAS STATIONS CONNECTED TO NATURAL GAS DISTRIBUTION SYSTEMS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jaromír Ondra

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Lukáš Radil, Ph.D.

BRNO 2020

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

Student: Jaromír Ondra

ID: 203311

Ročník: 3

Akademický rok: 2019/20

NÁZEV TÉMATU:

Bioplynové stanice připojené do rozvodů zemního plynu

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Práce se zabývá možnostmi vyvedení bioplynu do centrálních rozvodů zemního plynu. Bioplyn má řadu nedostatků, a proto je nutné jeho dodatečné vyčištění. Student provede rešerši daného tématu, provede výpočet základních finančních ukazatelů tohoto konceptu. Výhodou bude, pokud student osloví i provozovatele těchto stanic.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 3.2.2020

Termín odevzdání: 10.6.2020

Vedoucí práce: Ing. Lukáš Radil, Ph.D.

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Bibliografická citace práce:

ONDRA, Jaromír. *Bioplynové stanice připojené do rozvodů zemního plynu* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/127263>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky. Vedoucí práce Lukáš Radil.

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Bioplynové stanice připojené do rozvodů zemního plynu“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.“

V Brně dne: 10.6.2020

.....

Poděkování

Děkuji vedoucímu práce Ing. Lukáši Radilovi, Ph.D. za odborné vedení, podnětné návrhy, vstřícnost a trpělivost při konzultacích.

Dále bych rád poděkoval Ing. Adamu Moravcovi ze sdružení CZ BIOM za cenné odborné materiály a v neposlední řadě děkuji vedoucím pracovníkům společnosti VSP Group Olešnice za vstřícné jednání a ochotu při poskytování vnitropodnikových informací.

ABSTRAKT

Bakalářská práce je zaměřena na problematiku získávání, zpracování, úpravy, čištění a využití bioplynu. V této práci je provedena rešerše daného tématu, seznámení s postupy řešení různých problémů v tomto oboru. Dále se práce zabývá možnostmi vyvedení bioplynu do centrálních rozvodů zemního plynu.

KLÍČOVÁ SLOVA: bioplyn; biometan; hydrolýza; acetogeneze; acidogeneze; metanogeneze; adsorpce; absorpce; membránová separace

ABSTRACT

This work deals with the problematics of acquisition, treatment, cleaning and use of biogas. This work mentions the procedures of solutions to problems that occur in this field. This work also deals with options of connecting biogas to central distribution of natural gas.

KEY WORDS: biogas; biomethane; hydrolysis; acetogenesis; acidogenesis; metanogenesis; adsorption; absorption; membrane separation

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	8
SEZNAM TABULEK	9
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	10
1 ÚVOD	11
2 CÍLE PRÁCE	11
3 BIOPLYN.....	12
3.1 HISTORIE	12
3.2 VYUŽITÍ BIOPLYNU	13
3.3 VZNIK BIOPLYNU.....	14
3.4 ZDROJE BIOPLYNU	15
3.4.1 ZDROJE CÍLENĚ PĚSTOVANÉ	15
3.4.2 ZDROJE ODPADNÍ	15
3.5 SLOŽENÍ (VLASTNOSTI) BIOPLYNU	16
3.5.1 MAJORITNÍ SLOŽKY BIOPLYNU	16
3.5.2 MINORITNÍ SLOŽKY BIOPLYNU	16
3.5.3 NEŽÁDOUCÍ SLOŽKY BIOPLYNU.....	17
3.6 ČIŠTĚNÍ BIOPLYNU	17
3.6.1 ODSTRAŇOVÁNÍ NEŽÁDOUCÍCH SLOŽEK	17
3.6.2 METODY ČIŠTĚNÍ	18
4 BIOMETAN.....	21
4.1 LEGISLATIVA.....	21
4.2 SLEDOVANÉ KVALITATIVNÍ PARAMETRY BIOMETANU V ROZVODECH ZEMNÍHO PLYNU	22
5 CHARAKTERISTIKA SOUČASNÉHO STAVU ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	23
5.1 VYSPĚLÉ ZEMĚ V OBLASTI BIOPLYNU	23
5.1.1 ŠVÉDSKO.....	24
5.1.2 NIZOZEMSKO	24
5.1.3 NĚMECKO.....	25
5.1.4 ŠVÝCARSKO	25
5.1.5 FINSKO.....	26
5.1.6 VELKÁ BRITÁNIE	26
5.1.7 FRANCIE.....	26
5.2 MÉNĚ VYSPĚLÉ ZEMĚ V OBLASTI BIOPLYNU	26
5.2.1 POLSKO	26
5.2.2 SLOVENSKO	26
5.2.3 ČESKÁ REPUBLIKA	27
6 ENERGETICKÉ CENTRUM RECYKLACE RAPOTÍN.....	31
6.1 HISTORIE	31

6.2 TECHNICKÁ SPECIFIKACE	31
6.3 ZPRACOVÁVANÉ ODPADY	32
6.4 VÝSLEDNÉ PRODUKTY	32
7 BIOPLYNOVÁ STANICE LOUCKÝ DVŮR.....	33
7.1 TECHNICKÁ SPECIFIKACE	33
7.2 ZPRACOVÁVANÉ SUROVINY	33
7.3 VÝSLEDNÉ PRODUKTY	33
7.4 VARIANTY POKRAČOVÁNÍ PROVOZU	34
7.4.1 ALTERNATIVA POKRAČOVÁNÍ DOSAVADNÍHO PROVOZU	34
7.4.2 ALTERNATIVA PRODEJE ELEKTRICKÉ I TEPELNÉ ENERGIE	35
7.4.3 ALTERNATIVA TRANSFORMACE BPS NA BMS.....	35
7.5 POROVNÁNÍ	36
ZÁVĚR.....	38
POUŽITÁ LITERATURA	40

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 3-1: Procentuální podíl jednotlivých typů výroby bioplynu na jeho celkové spotřebě v letech 2003, 2010, 2018 [23].....</i>	<i>13</i>
<i>Obr. 3-2: Počet bioplynových stanic, které produkuje biometan a vtlačí jej do sítě zemního plynu (k roku 2016) [15]</i>	<i>13</i>
<i>Obr. 3-3: Vznik bioplynu [14].....</i>	<i>14</i>
<i>Obr. 3-4: Zastoupení technologií separujících CO₂ (k roku 2016) [15].....</i>	<i>18</i>
<i>Obr. 3-5: Metody čištění bioplynu na biometan [14]</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 5-1: Mapa BPS z hlediska vzdálenosti od VTL plynovodu k roku 2020 [36].....</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 5-2: Mapa CNG a LNG čerpacích stanic k roku 2020 [49]</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 7-1: Citlivostní analýza IRR na výkupní ceně biometanu.....</i>	<i>36</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 3-1: Obsah metanu v bioplynu získaném z různých druhů odpadů [5].....</i>	<i>16</i>
<i>Tab. 3-2: Výtěžnost bioplynu z různých substrátů [8].....</i>	<i>16</i>
<i>Tab. 6-1: Přehled odpadů zpracovávaných v ECR Rapotín [25]</i>	<i>32</i>
<i>Tab. 7-1: Spotřeba vstupních surovin za rok</i>	<i>33</i>

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

BPS	Bioplynová stanice
ČOV	Čistírna odpadních vod
PSA	Metoda adsorpce
PWA	Tlaková vodní vypírka
ČPS	Český plynárenský svaz
OTP	Obchodně technické podmínky
ECR	Energetické centrum recyklace
Nm ³	Normovaný metr krychlový
NGV	Natural Gas Vehicles
VŽP	Vedlejší živočišný produkt
BRKO	Biologicky rozložitelný komunální odpad
ERÚ	Energetický regulační úřad
VTL	Vysokotlaký plynovod
PVS	Pražská vodohospodářská společnost
ÚČOV	Ústřední čistírna odpadních vod
CNG	Stlačený zemní plyn
BioCNG	Stlačený plyn z obnovitelných zdrojů
LNG	Zkapalněný zemní plyn
SZIF	Státní zemědělský intervenční fond
BMS	Biometanová stanice
IRR	Vnitřní výnosové procento
bcm	Miliarda metrů krychlových

1 ÚVOD

Nedílnou součástí trendů moderního národního hospodářství je snaha o využívání obnovitelných zdrojů energie, jejímž výsledkem je snižování emisí skleníkových plynů a omezení znečišťování přírody. Jedná se o tzv. „cirkulární ekonomiku“, která se snaží o zachování správných vztahů mezi lidmi a přírodou. Tento postup má kromě ekologických důvodů také důvody ekonomické. Bioplynové stanice ke svému provozu využívají a zpracovávají mimo jiné i přírodní odpady a přebytky zemědělské výroby, které obsahují ve velké míře metan. Tento metan by se při volném rozkladu odpadů v přírodě dostal do atmosféry, a ještě více zvyšoval skleníkový efekt. Bioplynové stanice vyrábějí tedy tepelnou a elektrickou energii, bioplyn, biometan a látky, které je možné použít jako náhradu umělých hnojiv. Uvedení nové bioplynové stanice do provozu je však velmi nákladné, a proto jsou potřebné státní nebo evropské dotace. Výhodou bioplynových stanic je mimo jiné i decentralizace výroby elektrické energie, která pomáhá snižovat znečištění ovzduší ve velkých průmyslových aglomeracích. V některých evropských zemích, ale už i v České republice je zaváděna výroba biometanu, tzn. vyčištěného bioplynu, a jeho využívání vtláčením do sítě zemního plynu, jako neméně kvalitní, ale ekologické alternativy. K dalšímu rozšíření počtu a výkonu bioplynových stanic by mohl dopomoci intenzivní výzkum v této oblasti a následné zavedení nových technologií do praxe.

V této bakalářské práci je kladen důraz na rešerši daného tématu, seznámení čtenářů s širokou problematikou výroby bioplynu a biometanu a také možnostmi využití těchto produktů jako ekologických alternativ ke klasickým fosilním palivům. Dále je rozebrána současná situace provozu bioplynových stanic s technologií vtláčení biometanu do sítě zemního plynu, a to jak v České republice, tak také ve světě.

V závěru mé práce jsou představeny dva typy bioplynových stanic. Jedná se o BPS Rapotín, která jako jediná v ČR vyrobený biometan vtláčí do sítě zemního plynu a BPS Loucký Dvůr. Pro druhou z uvedených je proveden výpočet efektivity stávajícího provozu a tří možných alternativ provozu BPS v budoucnosti.

2 CÍLE PRÁCE

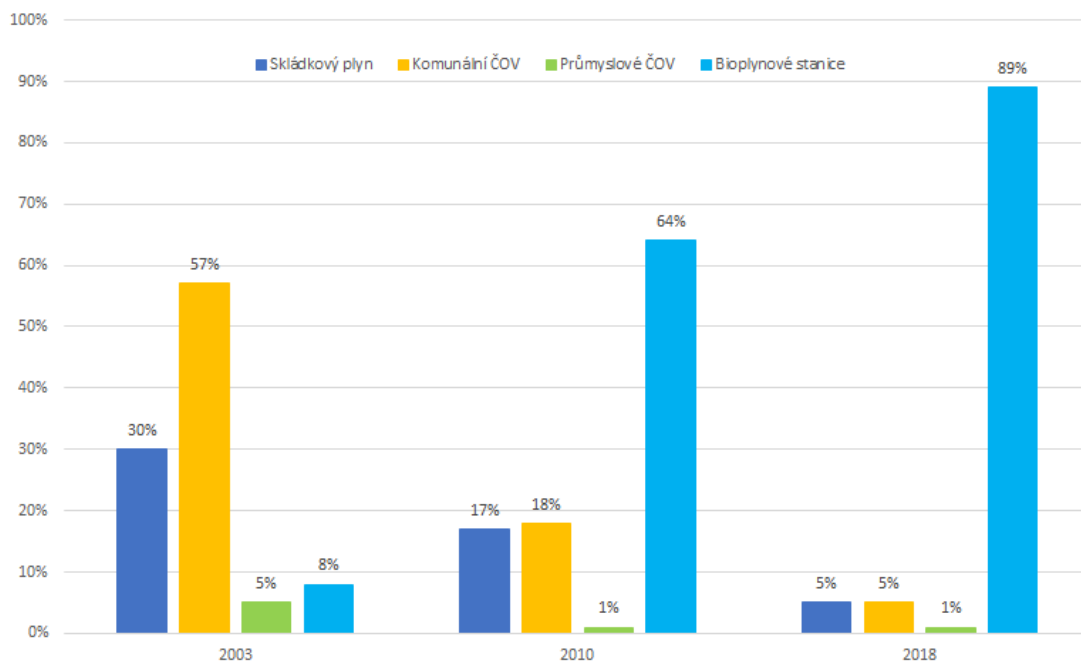
Cílem této bakalářské práce je důkladný rozbor problematiky výroby a čištění bioplynu, provedení výpočtu vnitřního výnosového procenta (IRR) pro bioplynovou stanici Loucký Dvůr a porovnání různých realizovatelných investičních záměrů pro pokračování výroby v této BPS. Výsledkem bakalářské práce je stanovení nejefektivnější z možných variant podle výše IRR. Výpočet je prováděn na základě poskytnutých vnitropodnikových informací z BPS Loucký Dvůr a je inspirován odbornou studií nazvanou „Konstrukce výchozího modelu pro posouzení ekonomické efektivity transformace stávajících BPS na biometanové stanice“ z ČVUT Praha.

3 BIOPLYN

Bioplyn je plyn, vznikající biodegradací čili biologickým rozkladem organických látek v prostředí bez vzdušného kyslíku, v tzv. anaerobních podmínkách. Proces vzniku bioplynu se nazývá anaerobní digesce, metanová fermentace, biogasifikace, biometanizace nebo vyhnívání. Bioplyn je surový plyn, který je získáván v různých typech bioplynových stanic a čistírnách odpadních vod (ČOV). Je považován za obnovitelný zdroj energie [1].

3.1 Historie

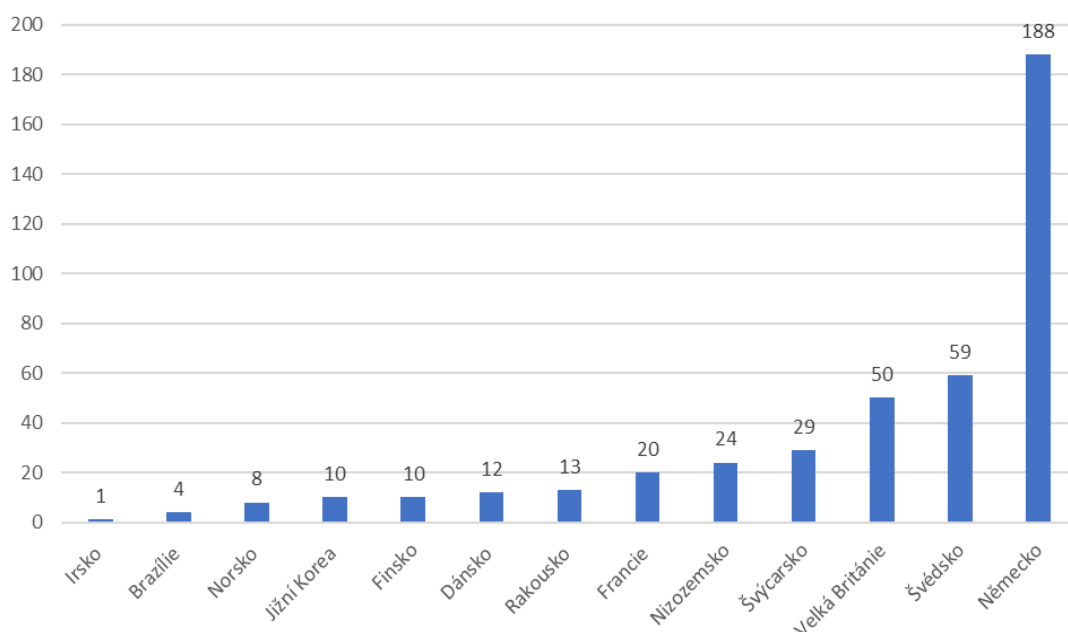
Mikroorganismy, které produkují metan, jsou jedny z nejstarších na planetě Zemi. Nesnášejí kyslík a žijí v těsné blízkosti s dalšími podobnými mikroorganismy. Bioplyn tedy vzniká jejich pomocí samovolně například ve skládkách odpadů, v rašeliništích, v bahně nebo ve střevech živočichů. K účelnému využití bioplynu dochází až koncem 19. století v Anglii ve městě Exeter, kde bylo započato s čištěním odpadních vod v uzavřených septicích. Tato metoda získávání bioplynu byla rychle rozšířena i do USA, kde ji A. N. Talbot začíná využívat k vytápění a osvětlování. Základ a impuls k získávání bioplynu a jeho využívání byl tedy vytvořen na principu čištění odpadních vod. Začátkem 20. století byly prováděny pokusy a došlo k patentování návrhu K. Imhoffa na tzv. „Emscherské studny“ nebo též „Imhoffovy nádrže“. První zařízení pro účelové anaerobní vyhnívání provozoval v roce 1910 O'Shaughnessy a Watson v Birminghamu. V roce 1924 byl uveden do provozu reaktor s výrobou bioplynu na čistírně odpadních vod v Essenu-Rellinghausenu. Pak se začalo šířit využívání bioplynu k pohánění elektrických generátorů. Postupně dochází k výzkumu procesu anaerobní fermentace a po druhé světové válce M. P. Briant uveřejnil své nové poznatky, které byly velkým přínosem pro dnešní postupy při získávání a využívání bioplynu. V dnešní době, kdy stále roste množství biologických odpadů, je jejich zplyňování a využívání spolu s využíváním cíleně pěstovaných plodin k anaerobní fermentaci (od 70. let 20. století) nedílnou součástí získávání obnovitelných zdrojů energie. V obrázku 2-1 je zobrazen procentuální podíl jednotlivých typů výroby bioplynu na jeho celkové spotřebě v letech 2003, 2010, 2018 [13], [23].



Obr. 3-1: Procentuální podíl jednotlivých typů výroby bioplynu na jeho celkové spotřebě v letech 2003, 2010, 2018 [23]

3.2 Využití bioplynu

Bioplyn je jedním z obnovitelných zdrojů energie. Na Zemi dochází každodenně k vytváření metanu, a proto by bylo nerozumné tento zdroj energie co nejvíce nevyužívat. Je využíván stejně jako ostatní plyny a existuje několik způsobů jeho využití. A to při přímém spalování, kogeneraci, trigeneraci, v palivových článcích, nebo je po jeho vyčištění jako biometan vtlačén do sítě zemního plynu a je využíván také jako palivo do dopravních prostředků [1], [4].



Obr. 3-2: Počet bioplynových stanic, které produkují biometan a vtlačí jej do sítě zemního plynu (k roku 2016) [15]

Vytápění – tímto způsobem dochází k využívání bioplynu v topných kotlích se speciálními hořáky (dmychadlové nebo atmosférické) za využití vyrovnávacích zásobníků bioplynu. Převážně na rozsáhlých zemědělských podnicích se takto provádí vytápění budov, získává se teplá užitková voda a podporují se další technologie zemědělské výroby [7].

Přímé spalování – využití bioplynu přímým spalováním je ekonomicky nevýhodné a neefektivní. Provádí se dnes už hlavně v rozvojových zemích a u nás k tomuto využívání bioplynu prakticky již nedochází [7].

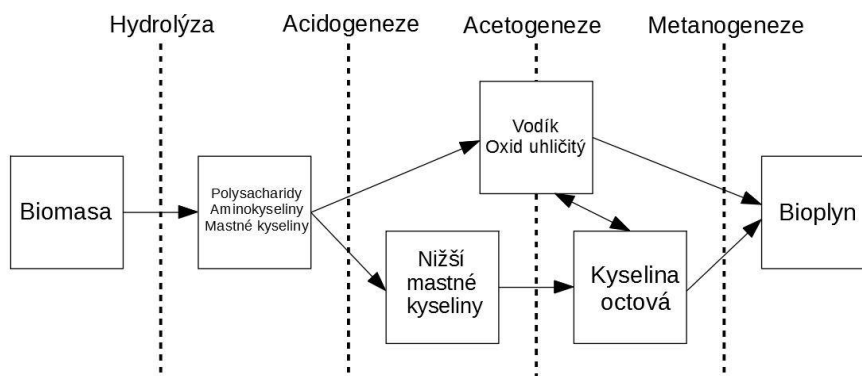
Kogenerace – v dnešní době dochází ke zvýšení podílu obnovitelných zdrojů energie na celkové spotřebě. Zpracovaný bioplyn je tímto způsobem využíván ve spalovacích motorech, které pohánějí generátor a ten vyrábí elektrickou energii. Odpadní tepelnou energii je možné využít pro vytápění budov případně pro chlazení. Účinnost kogenerační jednotky, tedy vyrobené elektrické a tepelné energie je 80-90 % [3], [7].

Palivo motorových vozidel – Evropskou unií byly přijaty směrnice (např. 2009/28/ES a 2003/96/ES), které podporují využití biopaliv z obnovitelných zdrojů v dopravě a cílem je zvýšit jejich procentuální podíl ve spotřebě všech motorových paliv. Upravený bioplyn (biometan) je používán v motorových vozidlech podle normy ČSN 65 6514, ve které je stanoveno dvojí označení pro bioplyn. Typ LH obsahuje 96-98 % metanu a typ H obsahuje 95-99 % metanu [6].

Vtláčení do sítě zemního plynu – pro vtláčení vyrobeného a vyčištěného bioplynu (biometanu) do sítě zemního plynu musí výrobce splňovat požadavky na kvalitu, která musí být srovnatelná s kvalitou zemního plynu. Tato problematika je rozvedena v kapitole 3 [5], [6].

3.3 Vznik bioplynu

Bioplyn vzniká při bioplynovém procesu a ten je možné pozorovat na různých místech v přírodě. Je známo mnoho typů takových procesů a z nich také vyplývají názvy jednotlivých druhů plynu. Např. plyn důlní, skládkový, kalový, zemní atd. Místem vzniku plynu může tedy být bahnitá plocha, stejně jako močál, skládka, hnojiště, rašeliniště nebo mořské dno. Při vzniku bioplynu dochází k procesu, kdy mikroorganismy rozkládají organickou kulturu. Jde o rozkládání makromolekulárních organických látek na nízkomolekulární a pomocí bakterií vznikají anorganické látky a plyny včetně metanu (CH_4), oxidu uhličitého (CO_2), sulfanu (H_2S) a v malém množství dusíku (N_2), vodíku (H_2) a jiné. Bioplyn vzniká množstvím na sebe navazujících procesů, na kterých se podílejí různé druhy bakterií. Z toho důvodu vznik bioplynu dělíme do čtyř fází – hydrolýza, acidogeneze, acetogeneze a metanogeneze [7].



Obr. 3-3: Vznik bioplynu [14]

Hydrolyza – proces hydrolyzy nevyžaduje prostředí bez vzdušného kyslíku. Vyžaduje však prostředí s dostatečným obsahem vlhkosti (nad 50 % hmotnostního podílu). V tomto procesu dochází k rozkladu složitých organických látek (polymerů) na jednodušší organické látky (monomery) [4], [8].

Acidogeneze – v této fázi dochází k rozkladu produktů hydrolyzy na oxid uhličitý (CO_2), vodík (H_2) a organické kyseliny (kyselina valerová, máselná, kapronová, propionová a octová). Tento proces ještě zpracovává materiál s určitým obsahem vzdušného kyslíku, ale na výstupu tohoto procesu už je vytvořeno bezkyslíkaté (anaerobní) prostředí [4], [8].

Acetogeneze – při acetogenezi je tvořena kyselina octová (CH_3COOH), vodík (H_2) a oxid uhličitý (CO_2), a to pomocí acetogenních bakterií, které přeměňují vyšší organické kyseliny [4], [8].

Metanogeneze – metanogeneze se dělí na dva procesy. Při prvním z nich vzniká metan (CH_4) a oxid uhličitý (CO_2), kdy metanogenní acetotrofní bakterie rozkládají kyselinu octovou (CH_3COOH). Při druhém procesu pomocí hydrogenních bakterií z vodíku (H_2) a oxidu uhličitého (CO_2) vzniká metan (CH_4) [8].

3.4 Zdroje bioplynu

Bioplyn lze vyrábět z různých organických materiálů, tzv. biomasy, které jsou jako vstupní suroviny velice důležité a jsou zpracovávány v bioplynových stanicích. Mohou to být různé druhy odpadů, které jsou biologicky rozložitelné, nebo také pro výrobu bioplynu cíleně pěstované plodiny [1].

3.4.1 Zdroje cíleně pěstované

Plodiny, které se pěstují cíleně pro energetické účely, jsou lignocelulózové (dřeviny, obiloviny, travní porosty a ostatní rostliny), dále plodiny olejnaté (slunečnice, řepka olejná, dýně, len), a dále plodiny škrobnato-cukernaté (brambory, obilí-zrno, cukrová řepa, kukuřice atd.) [1].

3.4.2 Zdroje odpadní

Zbytky ze zemědělské výroby rostlin, které se musí předem mechanicky drtit (sláma, zbytky z travních porostů, sadů a vinic, zbytky z křovin a lesa), dále odpady z živočišné výroby (trus hospodářských zvířat, zbytky krmiv atd.), dále komunální odpady (z odpadních vod, tuhé komunální odpady), dále organické odpady z potravinářské a průmyslové výroby (z dřevařské výroby, z lihovarů, z vinařství, z mlékáren a jatek). Proces výroby bioplynu v ČOV a produkce bioplynu v BPS, které využívají průmyslové a potravinářské odpady, mají srovnatelný výsledný produkt, ale jde o výrazně různé provozy. Hlavní rozdíl je ve složení vstupních surovin. Kaly z ČOV obsahují nejen nižší množství využitelných složek (uhlíkatých látek), ale většinou obsahují také látky, které mají nepříznivý vliv na výrobu bioplynu. Jsou to například zbytky léčiv, dezinfekční prostředky nebo sloučeniny těžkých kovů. V BPS se zase přednostně využívají suroviny, které obsahují co nejvíce snadno využitelného uhlíku a co nejméně látek nepříznivě působících na produkci bioplynu. Účel provozování těchto dvou technologií také není stejný. Zatímco hlavním důvodem provozování ČOV je stabilizace čistírenských kalů, redukce nežádoucích mikroorganismů a snížení pachové stopy, hlavním produktem BPS zpracovávajících odpady je výroba energie za účelem zisku. Tím jsou definovány hlavní odlišnosti provozování BPS a anaerobních reaktorů ČOV [1], [22].

Tab. 3-1: Obsah metanu v bioplynu získaném z různých druhů odpadů [5]

Bioplyn	Obsah CH ₄ (obj. %)
Čištění odpadních vod	50-85
Stabilizace kalů	60-70
Agroindustriální odpady	55-75
Skládky	35-55

3.5 Složení (vlastnosti) bioplynu

Bioplyn obsahuje některé složky ve větší míře a některé jsou zastoupeny jen v jednotkách procent. Proto některé z nich nazýváme jako majoritní a ostatní jako minoritní [6].

3.5.1 Majoritní složky bioplynu

Bioplyn obsahuje hlavně metan (CH₄) a oxid uhličitý (CO₂), a to v různém poměru v závislosti na kvalitě zdroje, ze kterého je získáván a také v závislosti na podmínkách výroby. Čím vyšší je obsah oxidu uhličitého v bioplynu, tím je jeho kvalita nižší. Oxid uhličitý způsobuje snížení výhřevnosti bioplynu a při skladování bioplynu také zvyšuje náklady. Cílem výroby je tedy získat bioplyn s co nejnižším obsahem oxidu uhličitého, neboť výhřevnost bioplynu je dána hlavně obsahem metanu [6].

Tab. 3-2: Výtěžnost bioplynu z různých substrátů [8]

Substrát	sušina (% objemu)	bioplyn (m ³ .t ⁻¹)
hovězí kejda	7	25
prasečí kejda	9	36
jateční odpady	18	65
zeleninové odpady	22	90
slamný hnůj	22	100
domovní bioodpad	35	100
travní senáž	30	150
kuchyňské odpady	33	245
obilní odpad	55	360
odpadní tuky		800

3.5.2 Minoritní složky bioplynu

Minoritní složky bioplynu jsou u kvalitního bioplynu obsaženy jen v jednotkách procent a je jich větší počet než složek majoritních. V současnosti je zjištěno několik set chemických sloučenin, které se v bioplynu nacházejí v různém, většinou nepatrném množství, ale jejich přítomnost jen málo přispívá k energetické využitelnosti bioplynu, naopak způsobuje korozi. Jsou to např. síra,

amoniak, dusík, vodík, kyslík, organokřemičité sloučeniny, uhlovodíky, karbonové kyseliny, halogenderiváty, alkoholy, aldehydy, ketony a vodní pára [4], [6].

3.5.3 Nežádoucí složky bioplynu

Nežádoucími složkami bioplynu jsou i některé z majoritních složek, jako je oxid uhličitý, a některé minoritní, jako je hlavně voda, sirovodíky (sulfany) a ostatní nečistoty, které jsou zastoupeny v menším množství [5].

3.6 Čištění bioplynu

Ve vyprodukovaném bioplynu je obsah metanu (CH_4) asi 50-70 %. Pro zvýšení kvality bioplynu musí být odstraněny nežádoucí složky, především voda, oxid uhličitý, sulfany, dusík, halogenderiváty uhlovodíku a křemíku a ostatní tuhé i kapalné nečistoty. Jejich odstraněním je zvýšeno procento obsahu metanu, který je určujícím faktorem pro energetickou využitelnost bioplynu. Podle způsobu využití bioplynu jsou různé požadavky na jeho čištění. Proto, aby bylo možné využití bioplynu získaného z bioplynových stanic stejně jako plynu zemního, je nutné zvýšit jeho kvalitu tak, aby získaný bioplyn měl srovnatelné parametry. Po jeho stlačení je možné jej dodávat do distribuční sítě plynu zemního nebo využít přímo jako pohonnou hmotu do vozidel, které jsou k tomu uzpůsobené. Čištění bioplynu je možné rozdělit do dvou částí, což je proces předčištění (pretreatment), kdy se odstraňují stopové prvky, a proces upgrading, při kterém je bioplyn zbavován majoritních plynů, hlavně oxidu uhličitého, kterého surový bioplyn obsahuje asi 30-50 %. Procesem čištění je možné vyprodukovat bioplyn s obsahem metanu až 99,9 %. Kvalitu čištění bioplynu upravuje ČSN 65 6514. Podle této normy je nutné zvýšit obsah metanu (CH_4) na minimálně 95 % objemu, obsah oxidu uhličitého (CO_2) je nutné snížit na maximálně 2,5 % objemu, dále je nutné snížit obsah sulfanu (H_2S) na maximálně 10 mg/m^3 , a snížit obsah vody (H_2O) na maximálně 32 mg/m^3 [1], [2], [7].

3.6.1 Odstraňování nežádoucích složek

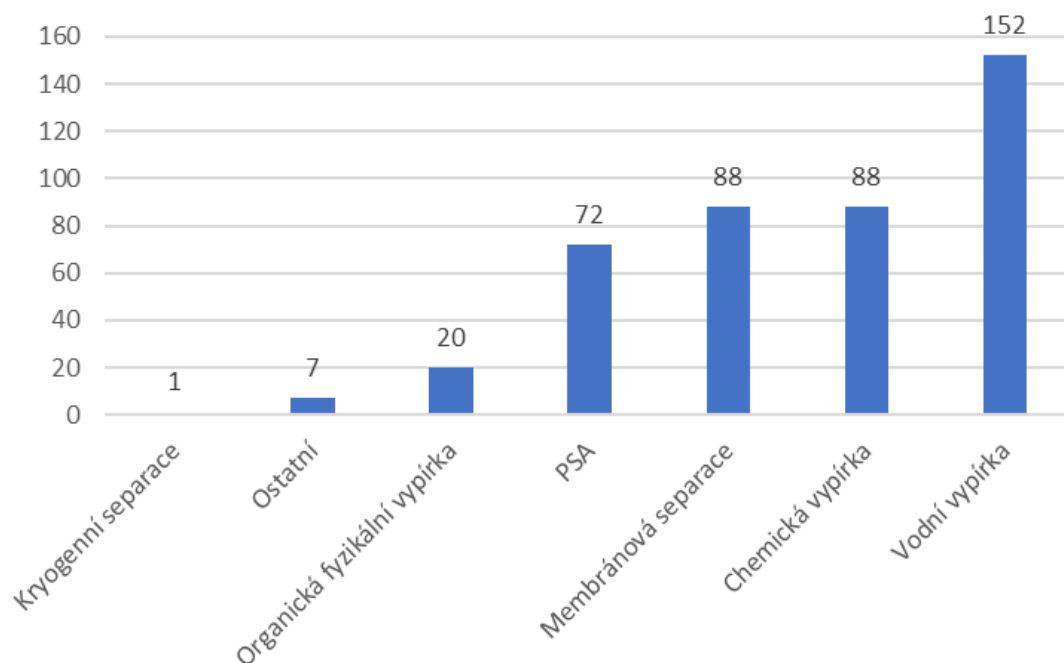
Surový bioplyn obsahuje velmi mnoho složek, které je nutné pro jeho efektivní využití odstranit. Jak je uvedeno výše, je důležité odstranit hlavně vodu, oxid uhličitý, sulfany a ostatní nečistoty, které jsou nežádoucí (halogeny, křemík, olej, tuhé nečistoty atd.) [2].

Odstranění vody – vodní pára obsažená v bioplynu spolu s oxidy kondenzuje v potrubí a způsobuje velmi nežádoucí korozi. K částečnému odstranění vody přispívá spádový sklon potrubí při ochlazování bioplynu na teplotu okolí. Pokud teplota bioplynu klesne na 0-5 °C, dochází ke kondenzaci největšího podílu vodní páry. Spolu s vodou jsou z bioplynu odlučovány i plyny, které jsou rozpustné ve vodě, např. čpavek nebo sirovodík. K odstranění vody se dále používají hlavně metody absorpce a adsorpce. Probíhá při nich zachytávání vody na silikagelu, na alumině nebo na molekulových sítích. I tyto metody ale mají své nevýhody, a proto se používají i metody chlazení v kombinaci s vypíráním glykoly, při kterých nevzniká kyselina chlorovodíková způsobující polymeraci bioplynu [5], [6], [7].

Odstranění sulfanu – čištění bioplynu od sulfanu je nutné, protože sulfan je jeho velice problematickou složkou. Způsobuje zápach a také toxicitu bioplynu v závislosti na tom, jak vysoká je jeho koncentrace. Její hodnota se pohybuje podle použité technologie fermentace. Podle tohoto hlediska dělíme bioplyn na čtyři druhy. Prvním je bioplyn s nevýznamným podílem sulfanu (do 50 mg/m^3) druhým je bioplyn s nízkým podílem sulfanu (50-250 mg/m^3), dalším je bioplyn se středním podílem sulfanu (250-1500 mg/m^3) a posledním je bioplyn s vysokým podílem sulfanu

(nad 1500 mg/m^3). K odstranění této problematické složky bioplynu se používají metody chemické nebo fyzikálně-chemické. Jsou velmi často a úspěšně aplikovány, ale také mají vysoké nároky na spotřebu energie a účinnost používaných chemikálií postupem času klesá. Metody na odstraňování sulfanu lze rozdělit do několika hlavních skupin. Pomocí přidávání solí železa, odstraňování pomocí plynárenské hmoty, dále mokré způsoby a biologické způsoby odstraňování [5], [6], [7].

Odstranění oxidu uhličitého – oxid uhličitý (CO_2) je majoritní složkou surového bioplynu, a proto je nutné jeho odstranění v co největší míře. Tento proces je vzhledem k vysokému obsahu oxidu uhličitého také nejnákladnější. Pokud je bioplyn vyčištěn důkladně od oxidu uhličitého, je možné získat bioplyn s obsahem metanu až 95 %. Jsou používány různé vhodné metody, například metoda adsorpce (PSA), absorpce (fyzikální a chemická), membránová separace a další postupy [4], [5], [6].

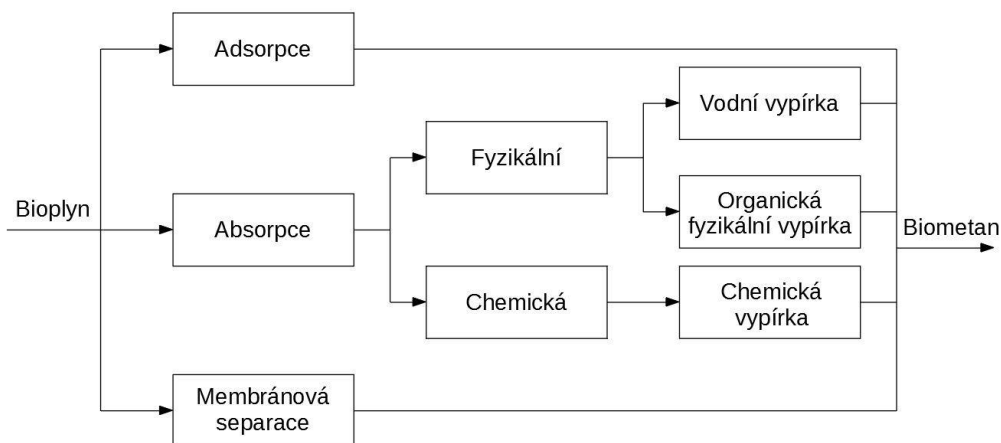


Obr. 3-4: Zastoupení technologií separujících CO_2 (k roku 2016) [15]

Odstranění ostatních nečistot – k odstranění ostatních nečistot z bioplynu se využívají různé metody a postupy, s ohledem na to, jakým způsobem bude výsledný produkt používán. V některých případech se pro minoritní podíl těchto ostatních nečistot jejich odstranění nevyžaduje [6].

3.6.2 Metody čištění

Nejpoužívanějšími metodami čištění bioplynu jsou adsorpce, absorpce, membránová separace a nízkoteplotní rektifikace. Jejich zákonitosti budou popsány v následujících bodech. Existují také nové biologické metody, které se rychle vyvíjejí, ale v současnosti se zatím nepoužívají [2].



Obr. 3-5: Metody čištění bioplynu na biometan [14]

Metoda adsorpce – metoda adsorpce je založena na střídání vysokého a nízkého tlaku (Pressure Swing Adsorption, PSA). Touto metodou jsou oddělovány od bioplynu plyny s ohledem na jejich vlastnosti a vlastnosti adsorpčního materiálu. Možné je použití uhlíkového molekulového síta nebo aktivního uhlí, které mají vhodný povrch. Je využíváno vysokého tlaku, při kterém se adsorbuje hodně plynů, a při snížení tlaku se plyny uvolňují. Tento proces se dělí na adsorpci, vyfukování, čištění a tlakování. Postupuje se tak, že se stlačený bioplyn vstříkne do adsorpční nádoby, ve které je zadržen oxid uhličitý, dusík, kyslík, voda a sulfany, a vyčištěný bioplyn (biometan) proniká přes adsorpční materiál a je při snížení tlaku shromažďován v horní části. Tato metoda je jednoduchá, bezpečná a není finančně ani energeticky nákladná. Tímto způsobem lze bioplyn vyčistit tak, že obsahuje až 98 % metanu [2], [6].

Metoda absorpce – tato metoda je fyzikální a dělí se na tlakovou vodní vypírku (Pressure Water Absorption, PWA), vodní vypírku (Water Scrubbing), vypírku za použití organických rozpouštědel, chemickou vypírku (Chemical Scrubbing) a nízkotlakou absorpci (Low Pressure Absorption). Při provádění vodní vypírky se oxid uhličitý a sulfan separuje, protože je oproti metanu více rozpustný ve vodě. Bioplyn je plněn spodem nádoby a voda horní částí. Vyčištěný biometan je potom odváděn a voda, která je použita, je často regenerována k dalšímu využití. Tato metoda je velmi účinná, ale je při ní vysoká spotřeba vody. Vypírka organickými rozpouštědly má stejný postup jako vodní vypírka, ale místo vody se používají organická rozpouštědla, jako je metanol, dimethylétery a polyetylenglykoly. Tyto látky mají nesrovnatelně vyšší rozpustnost oxidu uhličitého a výsledný biometan obsahuje až 98 % metanu. Chemická vypírka využívá roztoky aminů, které na sebe vážou molekuly oxidu uhličitého a sulfanu. Probíhá tak exotermická chemická reakce za atmosférického tlaku. Chemická rozpouštědla jsou však velice toxická a mimo jiné vysoká spotřeba energie zvyšuje velkou měrou počáteční náklady, což tuto metodu znevýhodňuje. Její účinnost je však vysoká a výsledný biometan obsahuje až 99 % metanu [2], [6].

Membránová separace – membránová separace využívá rozdílnost průchodnosti molekul jednotlivých složek bioplynu přes membránu. Zatímco složky bioplynu, které je nutné odstranit, prochází membránou rychleji a dostávají se do prostoru plynu odpadního, biometan zůstává v hlavní části a je odváděn a stlačen na 5-20 bar. Membrány jsou vyráběny z různých materiálů, hlavně polymerů, vytváří svazek trubek, aby bylo docíleno co největší plochy, a jsou velmi křehké. Při této metodě jsou používány rozdílné tlaky, které na ně působí [2].

Nízkoteplotní rektifikace – vymrazování CO_2 – tato metoda se nazývá též kryogenní separace (Cryogenic upgrading), používá se zatím jen ojediněle a postupně se vyvíjí. Využívá se

při ní ochlazování a stlačování bioplynu, kdy je metan uveden do kapalného stavu a tím oddělen od oxidu uhličitého a ostatních složek bioplynu. Touto metodou je získáván biometan, jehož kvalita je srovnatelná se zemním plynem. Nevýhodou této metody je její vysoká nákladnost a technické komplikace při tuhnutí oxidu uhličitého [2].

4 BIOMETAN

Moderní metodou využití bioplynu je vyčištění tohoto obnovitelného zdroje energie na biometan, který je svojí kvalitou podobný zemnímu plynu, a tedy jeho ekvivalentem pro stejné využití. Biometan (Biomethane, Bioerdgas, Green Gas) je upravený a vyčištěný bioplyn, který obsahuje nejméně 95 % metanu (CH_4). Tím splňuje všechny legislativní požadavky a je možné jeho vtláčení do distribuční sítě zemního plynu. Jeho využívání jako obnovitelného zdroje energie je všeobecně velmi žádoucí. V porovnání s ostatními biopalivy má nejnižší emise a při jeho získávání je nejnižší spotřeba energie, to znamená, že má nejvyšší energetickou bilanci. Produkční výnosy ostatních biopaliv, jako je bionafta nebo bioethanol, jsou výrazně nižší než výnosy biometanu, a proto je biometan právem řazen mezi biopaliva druhé generace. Jeho výrobou a používáním v praxi je maximálně využita energie, která se získává v bioplynových stanicích nebo čistírnách odpadních vod z odpadní nebo cíleně pěstované biomasy. Biometan, který je následně vtláčený do sítě zemního plynu, změní fosilní palivo na palivo s podílem obnovitelné složky. Tím přispívá ke snižování spotřeby neobnovitelných zdrojů energie a snižování emisí oxidu uhličitého při jejich získávání. Zvyšováním podílu biometanu je tedy snižována tzv. uhlíková stopa. V budoucnosti by touto technologií bylo možné nahradit co největší část zemního plynu, který dovážíme z cizích zemí [1], [5], [10], [16], [36].

4.1 Legislativa

Podmínky pro vtláčení biometanu do sítě zemního plynu jsou v dnešní době uzákoněny a tím je umožněno efektivní využití tohoto obnovitelného zdroje energie. Přípravou a schvalováním legislativy pro využití biometanu v rozvodech zemního plynu se zabývá Český plynárenský svaz (ČPS). Je členem Eurogasu a podílí se na přípravě evropských norem v tomto oboru. Spolupracuje mimo jiné s příslušnými ministerstvy ČR, s Hospodářskou komorou ČR a Svazem průmyslu a dopravy ČR. Vydává závazné dokumenty Českého plynárenského svazu a technické požadavky. K nejdůležitějším zákonům a vyhláškám upravujícím používání biometanu v síti zemního plynu patří [9], [16]:

- Energetický zákon č. 458/2000 Sb. a jeho novely: zákon č. 158/2009 Sb., zákon č. 211/2011 Sb. a zákon č. 131/2015 Sb.
- Vyhláška č. 62/2011 Sb. – stanovuje pravidla provozu přepravní soustavy a distribučních soustav v plynárenství
- Vyhláška č. 236/2017 Sb. – upravuje podmínky měření plynu a způsob stanovení náhrady škody při neoprávněném odběru, distribuci, skladování, přepravě nebo dodávce
- Zákon 85/2015 Sb. – zákon o metrologii
- Vyhláška 120/2015 Sb. – určuje měřidla k ověřování a měřidla, které podléhají schválení typu
- Technické pravidlo GAS TPG 902 02 – „Jakost a zkoušení plyných paliv s vysokým obsahem metanu“ a jeho doplnění – TPG 902 02 změna 1
- Technický požadavek DSO_TX_B03_071 – „Technické podmínky vtláčení biometanu do distribuční soustavy a připojování bioplynových stanic.
- Technické doporučení TDG 983 01 – „Vtláčení biometanu do plynárenské soustavy. Požadavky na kvalitu a měření“ [1], [5], [6], [9].

4.2 Sledované kvalitativní parametry biometanu v rozvodech zemního plynu

Pro vtláčení biometanu do plynárenské sítě zemního plynu je nutné jeho kvalitu monitorovat. Toto je prováděno podle základních požadavků, které mohou být upřesněny nebo doplněny plynárenským dispečinkem. Důležitá je hlavně teplota biometanu, jeho tlak, spalné teplo a chemické složení [5].

Teplota – měření teploty biometanu probíhá za kompresory, za chladičem a v místě obchodního měření [5].

Tlak – měření tlaku se provádí před i za kompresory, dále mezi uzávěrem a armaturním uzlem a jako teplota také v místě obchodního měření. Případně je také měřen tlak chladicího média [5].

Spalné teplo – místo měření spalného tepla určují obchodně technické podmínky (OTP), obvykle je to v obchodním místě měření kvality [5].

Chemické složení – měření chemického složení biometanu se provádí (podle OTP) v místě obchodního měření kvality [5].

Provozní a obchodní měření kvality – podle předpisu je prováděno dvojí měření kvality biometanu. Jsou odlišná tím, kdo toto měření kvality provádí a za jakým účelem. Rozlišujeme tzv. provozní měření – je prováděno výrobcem pro zjištění kvality vyráběného bioplynu a pro kontrolu a řízení prováděného čištění. Dalším je tzv. obchodní měření, to se liší podle toho, zda se biometan vtláčí do distribuční nebo přepravní sítě. Pokud je biometan vtláčen do distribuční soustavy, provádí měření výrobce podle platných norem TDG 983 01 a jsou používána měřidla podle zákona č. 85/2015 Sb. v platném znění. Pokud je vyrobený biometan vtláčen do přepravní soustavy, jsou pravidla dána legislativními předpisy ČR a měření kvality je zajišťováno provozovatelem přepravní soustavy. Výrobce se podílí na financování měření kvality biometanu v tomto případě jen částečně [5], [17], [20].

5 CHARAKTERISTIKA SOUČASNÉHO STAVU ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

V dnešní době je provozováno v Evropě přes 18 tisíc stanic, zabývajících se výrobou bioplynu. Nejpočetnější jsou v Německu, Švýcarsku, Itálii a Francii. V České republice se bioplynové stanice podílí asi čtvrtinou na celkovém množství elektřiny, která je vyráběna z obnovitelných zdrojů. V počtu BPS je naše země na třetím místě v Evropě a výzkumem technologií na jeho výrobu se zabývá hlavně Ústav chemických procesů Akademie věd ČR. První stanice, která dodává biometan do sítě zemního plynu byla uvedena do provozu ve Francii a největší BPS je v Lipsku, kde se ročně vyrobí 12,2 milionů m³ biometanu. V České republice byla poprvé zahájena výroba biometanu s jeho vtláčením do sítě zemního plynu 24. 10. 2019 v ECR Rapotín. V roce 2019 bylo možné získat dotace na výrobu biometanu od ministerstva průmyslu a obchodu, a i z Evropské unie je nabízena podpora projektů v této oblasti. Dne 11. a 12. listopadu 2019 se v Praze konala konference na téma „Strategická role plynů“. Podle jejích závěrů je třeba podpořit využívání nových obnovitelných zdrojů energie jakým je i biometan, a proto je plánovaná realizace velkých investic v této oblasti. Biometan je označován mnoha odborníky jako biopalivo druhé generace a je také předpokládán vývoj a rozšíření vozidel s alternativním pohonem, jako je také BioCNG [10], [11], [12], [16], [18], [19].

5.1 Vyspělé země v oblasti bioplynu

Potenciálu bioplynu, co by vhodné alternativy k fosilním palivům, se věnuje čím dál více zemí v Evropě. To je důvodem k nárůstu poptávky po nových moderních technologiích na výrobu a čištění bioplynu. Jednou z největších firem, zabývajících se problematikou bioplynu je společnost EnviTec Biogas. Dodává spolehlivé technologie a poskytuje služby zajišťující komplexní řešení projektů a jejich realizaci. V jednotlivých evropských zemích jsou zkušenosti s využíváním bioplynu a biometanu různé. Některé země se zaměřují na využívání biometanu ve velké míře jako pohonné hmoty v dopravě nebo jeho vtláčení do sítě zemního plynu. V celé Evropě se nyní vyrábí asi dvě miliardy metrů krychlových bioplynu ročně. Podle studie, kterou vydala Gas for Climate, by do roku 2050 mohla v Evropě výroba biometanu dosáhnout 95 bcm ročně. Tím by došlo k nárůstu oproti současnosti o 4800 %. Oproti tomu environmentální nevládní organizace International Council on Clean Transportation odhaduje udržitelnou výrobu bioplynu v Evropě v roce 2050 okolo 36 bcm ročně. Celkový počet bioplynových stanic v Evropě přesáhl 18 tisíc a biometanových stanic (BMS) je v provozu přibližně 500, přičemž jejich počet neustále narůstá. Nejzkušenějšími státy v Evropě v tomto směru jsou Švédsko, Německo a Nizozemsko, kde za použití prověřených technologií na úpravu bioplynu na biometan je v provozu více než 170 zařízení tohoto typu. Velkou výhodou těchto BPS je rychlé řízení množství vyrobené energie. Přebytek bioplynu, který se v daném čase nedá zpracovat na výrobu tepelné nebo elektrické energie, je možné kdykoliv zpracovat na biometan, který se dá snadno uskladnit, nebo použít jako palivo do spalovacích motorů (BioCNG). V ostatních zemích jsou zkušenosti s bioplynem a biometanem nižší a neustále v nich probíhá vývoj všech oblastí bioplynového průmyslu. V různých zemích jsou také podmínky pro výrobu bioplynu a biometanu rozdílné a každá země se také jinak staví k řešení problémů, které s sebou výroba těchto obnovitelných zdrojů energie přináší. Směrnice Evropské Unie o obnovitelných zdrojích (Energy Agreement for Sustainable Growth, 2013) vytyčuje cíle co nejrychleji snižovat emise skleníkových plynů, a také proto je velmi nezbytné se touto problematikou co nejvíce zabývat [24], [30], [34], [35], [38].

5.1.1 Švédsko

Ve Švédsku se bioplyn vyrábí už od roku 1960, kdy se začaly provozovat bioplynové stanice v tamějších čistírnách odpadních vod. V dnešní době jsou kromě těchto BPS v provozu také bioplynové stanice, které pomocí inovativních metod čištění bioplynu, využívají získaný biometan jako palivo do dopravních prostředků (od roku 1996) a také jej vtlačejí do sítě zemního plynu jako alternativní a obnovitelný zdroj energie. Vozidla poháněná biometanem jsou zvýhodněna tím, že nemusí platit mýtné a na některých místech ani poplatky za parkování. Ve Švédsku jsou mimo jiných nástrojů pro zvyšování podílu obnovitelných zdrojů energie vydávány od roku 2003 takzvané Švédské certifikáty, které svým držitelům zaručují osvobození od daní z energií a oxidu uhličitého při výrobě těchto paliv bez CO₂. Zvýhodnění jsou také provozovatelé vozidel, která spalují tato paliva šetrná k životnímu prostředí. Ve Švédsku stanovuje právní předpisy pro vtlačení biometanu do sítě zemního plynu zákon o zemním plynu (Naturgaslag). Tento zákon obsahuje ustanovení o potrubí plynovodů, skladovacích zařízeních, měřících stanicích, bioplynových stanicích a obchodu se zemním plynem. Pro příklad uvádím informace o jedné z největších bioplynových stanic ve Švédsku, která využívá k výrobě biometanu technologii suché fermentace (Kompogas). Je to BPS Högbyporp. Byla otevřena společností E.ON 30. srpna 2018. V tomto zařízení je zpracováván bioodpad na bioplyn, vyrábí se také kapalné biohnojivo a kompost a tím dochází k úplné recyklaci vstupních surovin. Tato bioplynová stanice se nachází ve městě Högbyporp v okolí Stockholmu a zpracovává bioodpad z jeho širokého okolí. Získaný bioplyn je čištěn na biometan a následně se vhání do sítě pro čerpací stanice vozidel NGV (Natural Gas Vehicles). Při plném provozu tato bioplynová stanice ročně vyprodukuje 425 GWh tepla k dálkovému vytápění, 165 GWh elektrické energie, 60 GWh bioplynu a 60 tisíc tun biohnojiv. Celková investice k její realizaci činila v přepočtu asi 265 milionů EUR. Další zařízení tohoto typu je v provozu ve městě v Jönköpingu. Generální ředitel společnosti E.ON Sverige Marc Hoffmann při uvedení této BPS do provozu prohlásil, že Švédsko má ambice se stát první zemí, která nebude spotřebovávat žádná fosilní paliva. Stavba nové bioplynové stanice na výrobu biometanu bude zanedlouho zahájena také ve švédském městě Linköpingu. Bude produkovat 100% zkapalněný biometan, který bude nabízen mimo jiné i sektoru těžké nákladní dopravy. Investice do tohoto projektu vedeného firmou Svensk Biogas bude činit v přepočtu 52 milionu Kč. [24], [27], [32].

5.1.2 Nizozemsko

V Nizozemsku byla první bioplynová stanice na zušlechťování bioplynu uvedena do provozu v roce 1987 a tato země má nemalé zkušenosti s výrobou bioplynu, ať už ze zemědělských produktů, skládek odpadů nebo čištění odpadních vod. V tamějších bioplynových stanicích jsou využívány různé technologie výroby a čištění bioplynu, hlavně metoda membránové separace. Nizozemsko disponuje obrovskými zásobami zemního plynu, a také proto na toto palivo jezdí velké množství vozidel, čemuž je uzpůsobená hustá síť čerpacích stanic na zemní plyn. Nizozemsko dodává zemní plyn do několika zemí v Evropě. Z toho vyplývá, že vývoj biometanového průmyslu je nižší, i když projekty z oblasti obnovitelných zdrojů energie jsou také finančně podporovány. Nizozemský biometan je vtlačěn do sítě zemního plynu, ať už je vyráběn z odpadních zdrojů, z čištění odpadních vod nebo ze zemědělské výroby, ale na jeho kvalitu jsou velmi vysoké požadavky. Potrubí sítě se zemním plynem je vyrobeno z oceli, která je náchylnější ke korozi, a proto vtlačovaný biometan musí obsahovat minimum vody a kyslíku. Například bioplynová stanice Microferm ve městě Den Bommel zpracovává kravský hnůj, který vzniká při výrobě mléka. Ročně využije tato BPS asi 8 tisíc tun hnoje. Byla zprovozněna v roce 2015 a vyrobený biometan vtlačí do sítě zemního plynu. Technologie tamější výroby biometanu je zaměřena na digesci hnoje bez

využití jiných vstupních surovin. Zřizovatelem je firma HoSt, která provozuje podobné bioplynové stanice také ve Francii a Německu [24], [28], [31].

Ve dnech 13. – 14. listopadu 2019 se v Nizozemsku konala konference „Future of Biogas 2019“, na které byla zdůrazněna potřeba podpory produkce a využití bioplynu a biometanu mnoha legislativními systémy a státní politikou, zaměřenou na dekarbonizace energetického sektoru. V Nizozemsku existují dva hlavní druhy podpory obnovitelných zdrojů. Je to Investiční podpora ISDE, která se zaměřuje na menší zdroje, to je na malé podniky nebo soukromé osoby. Dále je to program SDE+ (tzv. zelený bonus), který podporuje větší zdroje. Trh s bioplynem by měl v Evropě podle odborníků do roku 2025 překročit částku 6 miliard USD. Nizozemsko si klade za cíl do roku 2050 snížit emise skleníkových plynů o 80-95 % a k tomu výrazně pomáhá podpora projektů na využívání bioplynu [29].

5.1.3 Německo

Německo je nejvýznamnějším výrobcem bioplynu a biometanu v Evropě. V Německu je provozována zhruba polovina evropských BPS, přibližně 200. V Německých bioplynových stanicích se především zpracovávala cíleně pěstovaná kukuřice a další zemědělské plodiny. Tento postup byl však velmi náročný a nákladný, a proto německá vláda již bioplyn z cíleně pěstovaných zemědělských zdrojů nepodporuje. Od roku 2017 jsou významně podporovány zejména bioplynové stanice s maximálním výkonem 750 kW. V Německu je v provozu již větší počet bioplynových stanic, které vtlačí vyráběný biometan do sítě zemního plynu. Pro příklad uvádím biometanovou stanici Könnern, která má výkon 1750 Nm³ biometanu za hodinu. Tato BMS zpracovává především cíleně pěstovanou biomasu, která je dodávána z okolních zemědělských podniků. Dalším příkladem německých provozů je BPS Audi e-gas ve Wertle, která je součástí firmy Audi. V první části této BMS se pomocí aminové vypírky nepřetržitě upravuje bioplyn ze sousední bioplynové stanice na biometan a následně je vtlačěn do sítě zemního plynu. Druhá část tohoto provozu zpracovává získaný CO₂ a vodík, z nichž se pomocí katalytického syntézního reaktoru získává opět metan, který je následně opět vtlačěn do sítě zemního plynu. Takto získaný plyn se nazývá e-gas. Třetí část provozu ve Wertle je spouštěna pouze při nadvýrobě elektřiny a je v provozu jen asi 1000 hodin ročně. Jako poslední příklad uvádím bioplynovou stanici Ruhleben v Berlíně. Tento projekt je provozován čistírnou odpadních vod a spalovnou odpadů, které spadají pod technické služby města Berlín. Je tady zpracováván odpad z velké části Berlína (asi 68 tisíc tun ročně) a vyráběný bioplyn je upravován pomocí aminové vypírky na kvalitu zemního plynu. Během střídání ročních období se mění množství, složení i výtěžnost zpracováváných bioodpadů. Tato BPS používá vyráběný BioCNG jako pohon svých vozidel svážejících odpady a dodává jej prostřednictvím sítě do plnicích stanic [34], [35], [46].

5.1.4 Švýcarsko

Ve Švýcarsku je vyráběný biometan používán již řadu let hlavně jako palivo do motorových vozidel. Tato země je jedna z prvních, která se zabývá výrobou biometanu jako obnovitelného zdroje energie a jeho využitím jako náhrady fosilních paliv. V roce 2019 byl podíl biometanu v síti kolem 22,5 %. Od roku 2020 je podíl biosložky v CNG stanoven na 20 %, počet vozidel s tímto pohonem rychle vzrůstá a tím dochází k výraznému snižování emisí. Biopalivo je přitom ekonomicky zvýhodňováno, přispívá k celkovému environmentálnímu citění obyvatelstva, protože je ještě výhodnější než provoz dopravních prostředků s elektrickým pohonem [45].

5.1.5 Finsko

Společnost Gasum dodává svým odběratelům biometan, získaný z biologicky rozložitelných komunálních a také průmyslových odpadů. Tato společnost bude zkapalněný biometan dodávat finské firmě Forchem Oy, která se zabývá čistými technologiemi [31], [32].

5.1.6 Velká Británie

V letech 2010-2015 se ve Velké Británii zvýšil počet bioplynových stanic dvojnásobně a to na 523. Nejvíce zastoupené byly zemědělské bioplynové stanice a následovaly BPS zpracovávající bioodpady. Od roku 2010 je ve Velké Británii v provozu první zařízení na výrobu biometanu s vtláčením do stávající sítě zemního plynu. Byla zavedena na čistírně odpadních vod Thames Water Didcot. Podle tamních odborníků bude počet podobných projektů na výrobu biometanu v roce 2021 dosahovat téměř 140 [35].

5.1.7 Francie

Ve Francii je do budoucna plánováno využívání bioplynových stanic jako alternativního zdroje příjmu zemědělců a tím podpora lokální ekonomiky. V tom případě se ale jedná o bioplynové stanice situované daleko od měst (míst spotřeby) a následná přeprava bioplynu a biometanu by zvyšovala náklady a emise. Nejeftivnějším způsobem využívání bioplynu je jeho zpracování v místě výroby. Produkce biometanu začala ve Francii již v roce 2011, kdy byla uvedena do provozu první bioplynová stanice, která vyrobený biometan poskytovala pro provoz motorových vozidel. V současnosti je v provozu už více než 123 bioplynových stanic s technologií úpravy bioplynu na biometan, který se využívá k pohonu veřejné hromadné dopravy. Výhodou je nulová uhlíková stopa takového paliva a mimo jiné i poloviční hlučnost vozidel [34].

5.2 Méně vyspělé země v oblasti bioplynu

5.2.1 Polsko

V Polsku podle tamního ministerstva energetiky bude v budoucnu výroba biometanu výrazně posilovat a tím budou naplňovány polské cíle EU v oblasti klimatu. Surovinou pro získávání biometanu by měly být hlavně cíleně pěstované zemědělské plodiny. Rozvoj v této oblasti se očekává zejména díky novým zákonům, které zvýhodní produkci biometanu jako obnovitelného zdroje energie s velmi vysokou energetickou bilancí. Podíl tzv. vyspělých biopaliv, jako je i biometan, na celkové spotřebě musí být do roku 2030 nejméně 3,5 %. Stávající polské bioplynové stanice spolupracují na projektech spolu s ropnou společností Grupa Lotos, která se zabývá produkcí a distribucí ropných produktů, má tudíž zbudovanou potřebnou infrastrukturu a z biometanu je schopna vyrábět další žádaná paliva [43].

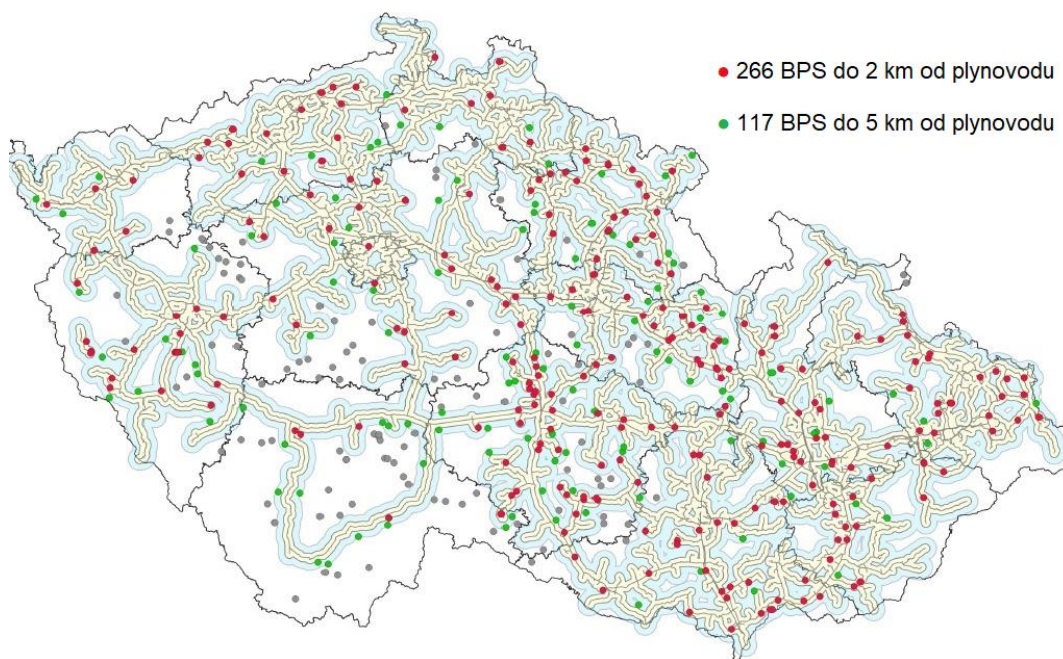
5.2.2 Slovensko

Na Slovensku od roku 2010 neustále přibývá bioplynových stanic, zejména stanic zemědělských a BPS při čistírnách odpadních vod. Slovensko patří mezi méně zkušené země v oblasti bioplynu, ale tamní vláda přistupuje k zavádění výhodných podmínek pro BPS prostřednictvím výkupních cen vyráběné elektrické energie [35].

5.2.3 Česká republika

Po roce 2005, kdy začal platit zákon 180/2005 Sb. o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů a podpory ze strukturálních fondů EU postupně začaly v ČR vznikat desítky nových BPS, hlavně takových, které se zaměřovaly na výrobu elektřiny za zvýhodněných podmínek, a to z obnovitelných zdrojů energie. Hlavní motivací pro jejich zřízení byla garantovaná výkupní cena a povinný výkup vyrobené energie. V současnosti je v České republice v provozu asi 600 bioplynových stanic, což je v přepočtu na milion obyvatel třetí místo v Evropě. Více bioplynových stanic je v přepočtu na milion obyvatel pouze v Německu a ve Švýcarsku. Nejvyšší podíl na českých BPS mají stanice zemědělské (asi 400), ve kterých se zpracovává ve velké míře cíleně pěstovaná kukuřice. Dále je v ČR přibližně 100 bioplynových stanic, které jsou součástí čistíren odpadních vod a průmyslové a komunální odpady jsou zpracovávány jen asi ve dvaceti bioplynových stanicích. Vyrobený bioplyn je v dnešní době v České republice využíván hlavně k výrobě elektřiny a tepla, jehož nedostatečné využívání zapříčiňuje nižší efektivitu bioplynových stanic. Česká republika oproti zahraničí poněkud zaostává v produkci biometanu. Je proto velmi žádoucí, aby se stávající bioplynové stanice zaměřily na zavedení nových technologií, díky kterým se vyráběný bioplyn dále zpracovává a vzniká biometan. Podle odborných prognóz by potenciál využívání biometanu v plynárenské síti měl být do roku 2050 asi 10 % celkové tuzemské spotřeby zemního plynu za rok, což je zhruba 750 mil. m³ a v roce 2030 mělo být v ČR v provozu až 200 bioplynových stanic, které budou vyrábět biometan v rozsahu asi 500 mil m³. Takové množství biometanu by ušetřilo v rámci České republiky asi tři miliardy korun za nákup zemního plynu z dovozu. Biometan jako ekologický ekvivalent zemního plynu je možné vtlačet do stávající sítě zemního plynu nebo používat jako palivo pro motorová vozidla (BioCNG). Toto ekologické palivo je označováno jako biopalivo 2. generace a má výrazný potenciál do budoucnosti. Jako první v ČR a na Slovensku se specializuje na projekty úpravy bioplynu na biometan a jeho následné vtlačení do sítě zemního plynu společnost EFG Engineering. Realizuje a poskytuje kompletní projektové řízení včetně projektové dokumentace, nabízí dotační poradenství a také zprostředkování výkupu vyprodukovaného biometanu. Další firmou, která se touto problematikou zabývá, je akciová společnost MEGA, která poskytuje svým klientům technologii pro úpravu bioplynu na biometan, založenou na principu membránové separace plynů. Dodává jednotky RALEX[®]BU, které mají kapacitu od 25 m³ do 1000 m³. Tato společnost provádí analýzu jednotlivých projektů, pilotní testování, pomoc při optimalizaci výroby a také nabízí poradenství ohledně získání příslušných dotací. Zhruba polovina stávajících bioplynových stanic v ČR je vhodná k přestavbě na výrobu biometanu. U ostatních by investice neměla smysl kvůli velké vzdálenosti od stávající přepravní infrastruktury. V roce 2019 byla vyhlášena IV. výzva programu Nízkouhlíkové technologie – Úprava bioplynu na biometan a jeho vtlačení do sítě zemního plynu nebo jeho plnění v rámci místní infrastruktury. Dotace z tohoto programu byly určeny pro majitele bioplynových stanic jak zemědělských, tak zpracovávajících bioodpady, a pro majitele čistíren odpadních vod (ČOV), které zpracovávají čistírenské kaly. Prvním městem v ČR, kde bylo palivo BioCNG použito pro pohon autobusu, bylo Brno. Používaný biometan vyrobila brněnská čistírna odpadních vod, která zpracovává čistírenské kaly a provozovala ji firma MemBrain. Tento projekt vyhrál prestižní cenu E.ON Energy Globe 2019 a byl zapsán do České knihy rekordů a kuriozit, jako první využití energie vyrobené z komunálních odpadních vod k pohonu městské hromadné dopravy. V dnešní době je v ČR více než 200 veřejných plnicích stanic na stlačený zemní plyn nebo BioCNG, které mají stejné vlastnosti. Stoupá také počet dopravních prostředků s tímto pohonem. V naší zemi jsou velice příznivé podmínky pro výrobu biometanu, protože zde funguje velké množství bioplynových stanic, které je teoreticky možné převést na biometanové a je vybudována široká plynárenská síť.

Společnost GasNet provozuje v ČR 11 tis. km vysokotlakých rozvodů zemního plynu, a také proto je u nás velký potenciál pro vtlačení biometanu do stávající sítě. Jak je uvedeno na obrázku 4-1, 266 stávajících bioplynových stanic v ČR je v dosahu do 2 km od VTL plynovodů a dalších 117 BPS se nachází v zóně do 5 km. Podle dosavadních zkušeností z oboru biometanu jeho výroba vede ke dvojnásobně efektivnějšímu využití zemědělské půdy, tedy energie získaná z dané rozlohy je 2x větší u BMS než v případě BPS. V České republice je od 24. 10 2019 v provozu první bioplynová stanice s technologií třístupňové membránové separace, a to v BPS Rapotín, která je součástí společnosti Energetické centrum recyklace Rapotín. S tímto projektem se podrobněji seznámíme v následující kapitole [31], [33], [36], [37], [38], [40], [44], [48], [49].



Obr. 5-1: Mapa BPS z hlediska vzdálenosti od VTL plynovodu k roku 2020 [36]

V roce 2019 bylo prověřeno dalších asi 40 BPS, které by se potencionálně mohly stát dalšími výrobny biometanu v ČR. Ve čtyřech z nich nyní probíhá proces žádosti o připojení k distribuční soustavě. Tím bude těmto provozům zajištěno, že jimi vyrobený biometan bude možné do stávajících plynovodů bez problémů vtlačet v celé výrobní kapacitě. Schválení dalších smluv o připojení k distribuční síti se očekává v roce 2021. V blízké budoucnosti je kromě jiných v plánu spustit výrobu biometanu v Ústřední čistírně odpadních vod (ÚČOV) na Císařském ostrově v Praze. Pražská vodohospodářská společnost (PVS) si zadala zpracování projektové dokumentace a zkušební provoz by měl být zahájen v listopadu 2021. Cena potřebných zařízení by se měla pohybovat kolem 50 mil. Kč bez DPH, přičemž se kalkuluje s dvou až tříletou návratností investic. Roční výkon tohoto provozu bude 960 tis. m³ biometanu, který bude vtlačen do středotlakého plynovodu v Papírenské ulici společnosti Pražská plynárenská. Realizace takových projektů je však velmi nákladná a bez podpory a aktivního přístupu státních orgánů by nebyla možná. Investice do výroby biometanu se pohybuje kolem 30 až 35 mil. Kč a VTL přípojka stojí v nynějších podmínkách asi 10 až 15 mil. Kč. V Evropě roste tlak na dosažení uhlíkově neutrálního energetického hospodářství a současný vývoj nových technologií tomu velmi napomáhá. Jednou z cest je bezesporu i výroba biometanu a jeho následné vtlačení do sítě zemního plynu. Nespornou výhodou biometanu je možnost jeho uložení v síti a v úložištích plynu, oproti nákladům na uložení elektrické energie, které jsou velmi vysoké a kapacita úložišť je v současnosti velice omezená.

Kromě překonání technických problémů však jde i o schválení příslušných legislativních norem na ochranu trhu. Díky demokratickým procesům ve společnosti můžeme být v tomto směru optimisty. V následujícím desetiletí by, podle představ státu, měl probíhat prudký rozvoj v oblasti výroby biometanu. Biometan z odpadů by měl sehrát hlavní úlohu v rozvoji tzv. zelené dopravy v Česku, i když v posledních letech je více slyšet o elektromobilitě. Podle dokumentu „Rozvoj podporovaných zdrojů energie do roku 2030“, který vznikl na ministerstvu průmyslu, je v plánu štedrá podpora výroby biometanu. V roce 2021 by měla tato podpora činit až stovky miliónů korun ročně a do roku 2030 by měla vzrůst až na 8,7 miliardy korun. Je totiž nutné navýšit podíl ekologické dopravy v České republice na 14 %. Podobně jako u podpory solárních elektráren se v minulosti ani podpora českých bioplynových stanic nevydařila, jak by bylo třeba a stát nyní řeší způsob nápravy. Většina stávajících bioplynových stanic se zaměřuje na výrobu dotované elektrické energie a téměř 80 % tepla vypouští jako odpad. Hlavní surovinou pro výrobu bioplynu je kukuřice, ale jejím pěstováním se tuzemská půda stále více devastuje. Proto by se tyto bioplynové stanice měly přestavět na mnohem efektivnější výroby biometanu, který by si Česká republika započítala do povinného evropského podílu čisté dopravy. Nejdůležitějším kritériem přestavby stávajících BPS na biometanové je jejich vzdálenost od stávajícího plynovodu. V optimistických úvahách by bylo těmito přestavbami možné vyrábět až 374 mil. m³ biometanu ročně. Zároveň se mají stavět také úplně nové biometanové stanice a s jejich přispěním by bylo možné vyrábět až 8 % roční spotřeby plynu v České republice. Biometan, vtláčený do stávající sítě, se sice smíchá s konvenčním zemním plynem, ale odběratelé tohoto plynu obdrží ověřený certifikát o odběru čisté suroviny. Někteří z těchto odběratelů mají povinnost určité spotřeby obnovitelných energií a také jsou povinni snižovat emise skleníkových plynů. Některé firmy jsou naopak na snižování své spotřeby fosilních paliv pyšné, ale to se zatím jedná výhradně o zahraniční společnosti. Export obnovitelných zdrojů energie však ČR nesmí započítávat do jejich povinného podílu. Investiční podpora pro připojení ke stávající distribuční soustavě může podle úvah odborníků tvořit téměř třetinu nákladů na přestavbu BPS na biometanovou. Důležitým faktorem je mimo jiné plánovaná dotovaná výkupní cena biometanu. Ministerstvo průmyslu počítá předběžně s tzv. zeleným bonusem ve výši 970 Kč/MWh pro přestavěné biometanové stanice a 1700 Kč/MWh pro nově postavené biometanové stanice na dobu dvaceti let [39], [41], [42].

Více než deset let se problematikou čištění bioplynu na biometan zabývá také firma MemBrain ve Stráži pod Ralskem. Tuto firmu zastřešuje již výše zmíněná MEGA a.s., založena v roce 2008, která má nejvíce zkušeností se zaváděním membránových procesů a je v tomto oboru světovým leaderem. MemBrain, jako jediná z českých firem, spustila realizaci vlastních postupů úpravy bioplynu na vysoce kvalitní plyn BioCNG, který lze používat jako náhradu fosilních paliv pro motorová vozidla. Tento postup se úspěšně ověřuje v Čistírně odpadních vod v České Lípě. V kontejneru pod vyhnívací nádrží této ČOV se pomocí membránových filtrů získává kvalitní palivo. Mezi výhody této technologie patří zejména jednoduchost celého procesu, nízké energetické náklady i náklady na údržbu, dále její šetrnost k životnímu prostředí, protože výroba BioCNG zanechává zápornou uhlíkovou stopu (spotřebovává oxid uhličitý). V České Lípě byla doposud z bioplynu vyráběna tepelná energie. V současnosti zde probíhá ověřování, zda je technologie membránové separace s výrobou BioCNG z kalových plynů použitelná pro čistírny odpadních vod v menších městech. ČOV v České Lípě vyrábí až 60 m³ plynu za hodinu, a to je při 50 % výtěžnosti asi 400 kg BioCNG. Při ceně CNG 26,5 Kč/kg je návratnost investic do tohoto projektu asi 8 let a životnost tohoto zařízení je kolem 25 let. Pokud by byla separace bioplynu na BioCNG zavedena do všech čistiren odpadních vod v České republice (asi 2500 ČOV), zvýšila by se naše energetická soběstačnost a také by se zvýšila efektivita výroby elektrické energie.

veřejné CNG stanice ■ 207
veřejné LNG stanice ■ 1

Obr. 5-2: Mapa CNG a LNG čerpacích stanic k roku 2020 [49]

6 ENERGETICKÉ CENTRUM RECYKLACE RAPOTÍN

Postavení BPS Rapotín bylo plánováno od roku 2011, projekt byl zpracován v letech 2012-2015, kdy byla také získána dotace na tuto stavbu. Výstavba probíhala v roce 2016 a celková investice činila 280 milionů Kč. Kapacita tohoto provozu je zpracování 30 tisíc tun odpadu za rok, přičemž je ročně vyprodukováno 4,2 GWh elektrické energie, 7200 GJ tepelné energie a 12 GWh energie z biometanu. V České republice je tento projekt ojedinělý a je možné zde zpracovat odpady včetně obalů, přičemž jsou výstupy stoprocentně využity [25], [26].

6.1 Historie

Bioplynová stanice Rapotín byla uvedena do provozu v roce 2016 jako energetické centrum recyklace bioodpadů (ECR Rapotín) společností IS ENVIRONMENT SE v areálu bývalých skláren v Olomouckém kraji. Hlavním akcionářem je firma Energy financial group a.s., která je zaměřena na využívání obnovitelných zdrojů energie. Zabývá se aktivně zefektivněním likvidace bioodpadů a využitím bioplynu. Cílem této společnosti je vytvoření energeticky nezávislého projektu, kde se v co největší míře využívají a ekologicky likvidují odpady zavedením nových technologií. Část vyrobeného bioplynu se přemění pomocí kogenerační jednotky na elektrickou a tepelnou energii, část je od 24. 10. 2019 upravována na biometan a vtláčena do distribuční plynárenské sítě. V rámci České republiky je to projekt výjimečný, zpracovává a stoprocentně využívá nejrozličnější druhy bioodpadů a její roční kapacita zpracování, jak již bylo uvedeno výše, je 30 000 tun biologického odpadu. V ECR Rapotín byla uvedena do provozu jako první v České republice technologie úpravy bioplynu na biometan a jeho následné vtláčení do sítě zemního plynu, spravované společností GasNet. Náklady na celý tento projekt činily 45 mil. Kč. Byla zde spuštěna technologie membránové separace, pomocí níž je neefektivněji vyráběn biometan, a která funguje s poměrně nízkými provozními náklady. Díky této nové technologii se zvýší výnosnost ECR Rapotín až o 20 % [19], [47].

6.2 Technická specifikace

V ECR Rapotín je v provozu technologie třístupňové membránové separace, která využívá různou propustnost složek bioplynu přes polymerové vlákno a zaručuje nejvyšší efektivitu výroby biometanu při nízkých provozních nákladech. Tím dochází k oddělení metanu od zbývajících složek bioplynu. Výrobce této technologie je firma Prodeval a na český trh jej dodává společnost Biomethane CE. Tato firma má množství zkušeností z provozu odpadových i zemědělských bioplynových stanic v Německu, Rakousku a Holandsku. Tato BPS je řízena automaticky pomocí počítačového systému, který automaticky hlásí i případné závady a funguje nepřetržitě. Pracovníci obsluhy mají především ranní směny a je možnost obsluhy také na dálku přes mobilní zařízení. Kapacita výroby BPS Rapotín je 260-300 Nm³ bioplynu za jednu hodinu. Za rok je ECR Rapotín schopna vyprodukovat 1,3 mil. Nm³ biometanu což odpovídá 13 GWh energie. Neméně významné je také prokazatelné snížení emisí skleníkových plynů (tzv. CO₂ ekvivalent), který v tomto případě činí 57 375 tun za rok. Technologie vtláčení biometanu do sítě zemního plynu je v současnosti v Rapotíně ve zkušebním provozu, během kterého se doladují detaily a případné problémy. Tato BPS má udělený souhlas od ERÚ ke zkušebnímu provozu a ve lhůtě 6 měsíců by měla být tímto úřadem udělena licence. BPS má dvě haly, ve kterých se přijímají odpady. První hala, tzv. čistá, je navážena odpady, u kterých není riziko kontaminace. Je to hlavně tráva nebo silážní kukuřice. Ve druhé hale, tzv. špinavé, jsou přijímány odpady, u kterých je nutná hygienizace nebo je nutné je zbavit obalů. Hygienizační jednotka zbavuje odpady bakteriální kontaminace. Probíhá ve

speciálním vytápěním prostředí, kde je vstupní materiál zahříván po dobu jedné hodiny na teplotu 70°C. Proces hygienizace zabraňuje tomu, aby se případná kontaminace šířila vyprodukovaným hnojivem zpět do životního prostředí. Ve špinavé hale je v provozu tzv. kladivový drtič, díky kterému BPS dokáže zpracovávat všechny odpady i s obaly. Suroviny z čisté i špinavé haly se následně smíchají, přečerpají se do anaerobních fermentačních nádrží začíná proces fermentace. Ve fermentačních nádržích se materiál ponechává asi 80 dní při teplotě kolem 40°C a celý proces je kontinuální. Musí být udržována optimální teplota fermentoru, a k tomu bioplynová stanice využívá vlastní vyrobené teplo. Technologie zde používané anaerobní fermentace zajišťuje nulovou kontaminaci ovzduší metanem, CO₂ a čpavkovými výpary a tím přispívá k ochraně životního prostředí [19], [26], [36].

6.3 Zpracovávání odpady

Bioplynová stanice Rapotín má povolení na zpracování 30 tis. tun bioodpadu za rok. V následující tabulce jsou uvedeny typy odpadů, které ECR Rapotín zpracovává [25], [26].

Tab. 6-1: Přehled odpadů zpracovávaných v ECR Rapotín [25]

DRUH	POPIS
POTRAVINY nevhodné ke spotřebě	zabalené potraviny, pečivo
VŽP kategorie 2 a 3	vnitřnosti, zbytky masa z masokombinátů
VÝPLACHY	potravin. průmysl, syrovátka, tukové lapoly
KALY	ČOV – stabilizované, odvodněné
GASTRO ODPAD	kuchyně a jídelny
OVOCE A ZELENINA	výrobci, tržiště, supermarkety
ODPAD Z VÝROBY KRMIV	granule
BRKO	hnědé popelnice, travní seč z veř. prostranství

6.4 Výsledné produkty

Bioplynová stanice Rapotín zužitkovává odpady, které jsou jinak těžko zpracovatelné nebo jinde nevyužívané, pomocí takzvané bezodpadové technologie (vstupní suroviny jsou využívány na 100 %). Výslednými produkty tohoto provozu jsou elektrická energie, dodávaná do distribuční soustavy, tepelná energie, dodávaná do centrálního rozvodu obce Rapotín, dále biometan, následně vtlačенý do sítě zemního plynu a také neméně významným produktem je organické hnojivo, které zvyšuje zemědělskou výnosnost půdy a zabraňuje její erozi. Tento fugát je skladován v nádrži o objemu 5000 m³ a odebírají jej hlavně zemědělci z okolí. Vzorky hnojiva jsou jednou měsíčně analyzovány a mají certifikaci od Ústředního kontrolního a zkušebního ústavu zemědělského. Toto ekologické hnojivo je přínosem pro zkvalitnění zemědělské půdy i zemědělské výroby, přispívá k omezení eroze a pomáhá zadržování vody v půdě. BPS produkuje asi 5 mil. Nm³ bioplynu a 23 tis. tun organicko-minerálního hnojiva. Z části vyrobeného bioplynu se v Rapotíně produkuje vysoce kvalitní biometan, který je vtlačен do sítě zemního plynu. Projekty podobného typu ukazují, že biometan je vysoce ekologické palivo, které bude jistě součástí moderní energetiky budoucnosti [19], [25], [26], [37].

7 BIOPLYNOVÁ STANICE LOUCKÝ DVŮR

Provozovatelem BPS Loucký Dvůr je společnost VSP Group Olešnice a tato BPS doplňuje a navazuje na jeho zemědělskou výrobu. Nachází se v obci Loucký Dvůr a je v činnosti od roku 2009. Elektrický výkon této BPS je 0,63 MW a tepelný výkon je 0,938 MW. Získaná elektrická energie je dodávána firmě E.ON a tepelná energie je částečně využita pro dohřívání technologie výroby bioplynu. Na uvedení BPS do provozu byla obdržena od Státního zemědělského intervenčního fondu (SZIF) dotace ve výši 19 milionů Kč, přičemž celková investice dosahovala asi 60 milionů Kč. Bioplynová stanice Loucký Dvůr zpracovává různé druhy zemědělské odpadu a plodin ze zemědělské výroby společnosti VSP Group Olešnice, jejíž je součástí. Jedná se především o hovězí hnůj, kukuřičnou siláž a senáž z travní hmoty. Tyto suroviny musí splňovat přísné podmínky, protože jejich případné nedodržení se velmi negativně projevuje do výkonu instalovaného plynového motoru [21].

7.1 Technická specifikace

Vstupní suroviny jsou v BPS pomocí počítačového systému automaticky plněny do fermentoru, kde jsou částečně ředěny vodou, udržovány při teplotě 45°C a tím dochází k uvolňování bioplynu. Kontinuálně probíhá míchání a přečerpávání pomocí čerpadel do další haly. Tam se vzniklý bioplyn shromažďuje pod membránou, nad níž je kopule se vzduchem pro vyrovnávání tlaku. Proces výroby bioplynu probíhá nepřetržitě. V bioplynové stanici Loucký Dvůr byl původně instalován plynový motor o výkonu 525 kW a po ročním provozu byl na podzim roku 2010 přestavěn na dvanáctiválcový o výkonu 630 kW. Jedná se o kvalitní plynový motor prestižní rakouské firmy Jenbacher, která je významným výrobcem pístových plynových motorů spalujících zemní plyn, ale i bioplyn, nebo odpadní a skládkový plyn. Tento motor má životnost 60 tis. hodin a je v chodu asi 8 300 hodin ročně. Veškerá elektrická energie, kterou potřebuje bioplynová stanice ke svému provozu, musí pocházet z vlastní výroby.

7.2 Zpracovávané suroviny

Bioplynová stanice Loucký Dvůr zpracovává suroviny, které produkuje její mateřská společnost VSP Group Olešnice. Jde především o hovězí hnůj, který získává z přilehlého chovu hovězího dobytka, dále o kukuřičnou siláž z odpadních zbytků této plodiny a senáž travní hmoty. Průměrná spotřeba těchto surovin za jeden rok je uvedena v následující tabulce.

Tab. 7-1: Spotřeba vstupních surovin za rok

SUROVINA	ZPRACOVÁVANÉ MNOŽSTVÍ ZA ROK
Hovězí hnůj	7 500 t
Kukuřičná siláž	5 600 t
Senáž travní hmoty	5 000 t

7.3 Výsledné produkty

V Bioplynové stanici Loucký Dvůr je denní produkce bioplynu 6 271 m³, což za jeden rok činí 2 288 802 m³. Při instalovaném výkonu 630 kW je průměrná denní produkce elektrické energie 13 400 kWh, která za jeden rok činí zhruba 4 891 139 kWh. Tato BPS má od svého uvedení do

provozu na dvacet let (tedy do roku 2029) smluvně dotovanou výkupní cenu elektrické energie, kterou dodává společnosti E.ON. Celkové množství vyrobeného tepla činí 5 518 208 kWh a je využíváno výhradně k provozu bioplynové stanice. Při výrobě bioplynu jako odpadní produkt vzniká kvalitní ekologické hnojivo, které obsahuje množství potřebných prvků, jako je fosfor, draslík, dusík nebo mangan. VSP Group Olešnice toto hnojivo plně využívá pro svou potřebu v zemědělské výrobě. Dotovaná cena vykupované elektrické energie v této BPS je smluvně garantovaná na 20 let a činí 4,12 Kč/kWh. Při ročním prodeji 4 891 139 kWh činí tržba z prodeje elektrické energie za rok 20 151 493 Kč.

7.4 Varianty pokračování provozu

V letošním roce probíhá jedenáctý rok podpory, takže až do roku 2029 budou v této bioplynové stanici pokračovat v dosavadním provozu, tedy prodeji elektrické energie za zvýhodněnou cenu. Otázkou je, jakým způsobem bude tato BPS pokračovat v provozu po roce 2029. V následujících kapitolách budou rozebrány tři možné varianty následného provozu bioplynové stanice Loucký Dvůr. První z nich je pokračování produkce bioplynu a následná výroba elektrické energie, ovšem již bez dotované výkupní ceny. Druhá varianta zahrnuje prodej elektrické energie jako v první variantě společně s prodejem nevyužité tepelné energie. Třetí varianta představuje transformaci BPS na biometanovou stanici (BMS).

K porovnání ekonomické efektivnosti jednotlivých variant jsem použil ukazatel vnitřní výnosové procento (IRR). Pro jeho výpočet byl použit program Excel. Je v něm zohledněna výše počáteční investice a hotovostní toky po dobu provozu. Podle poskytnutých přehledů provozních nákladů a zisků BPS Loucký Dvůr, což jsou vnitrofiremní údaje, které nejsem oprávněn zveřejnit, činí hodnota IRR dlouhodobě 3,9 %. Aby byla ve všech případech motivace provozovatelů stejná, musí všechny tyto varianty mít alespoň stejnou hodnotu kritéria IRR. Čím vyšší má projekt IRR, tím je více žádoucí jeho realizace.

Vnitřní výnosové procento (IRR) je dáno vztahem:

$$\sum_{j=1}^n \frac{P_j}{(1 + IRR)^j} = K_i$$

kde:

P_j peněžní příjem z investice v j-tém roce

K_i pořizovací náklady

Podle skutečných údajů z BPS Loucký Dvůr jsem postupně dosazoval do tabulky data o nákladech, výnosech a odpisech z jednotlivých let provozu. Od výnosů jsem odečetl náklady a daňové odpisy a tím jsem určil výši zisku. Po odečtení daně z příjmu jsem vypočítal čistý zisk firmy. Součtem čistého zisku s daňovým odpisem jsem určil výši peněžního příjmu (P_j) za každý rok. Z hodnot peněžních příjmů a pořizovacích nákladů (K_i) jsem pomocí funkce v programu Excel vypočítal hodnotu vnitřního výnosového procenta (IRR).

7.4.1 Alternativa pokračování dosavadního provozu

Pro posouzení výhodnosti zavedení této varianty bylo použito několik kritérií. Investiční náklady BPS realizované v roce 2009 byly cca 60 mil. Kč. Instalovaný výkon kogenerační jednotky je 630 kW a doba využití maxima je 7760 hodin za rok. Zohledněny jsou také provozní výdaje na

obsahu, opravy a údržbu, které podle odborných odhadů činí 5,5 % z investičních nákladů. Efektivnost pokračování dosavadního provozu s výrobou elektrické energie bez dotované výkupní ceny nejvýrazněji ovlivňují tyto veličiny:

- Výnosy z prodeje elektrické energie
- Náklady na provoz, opravy a údržbu
- Náklady na vstupní substrát
- Náklady na mzdy a pojistné
- Investiční náklady

Hodnota vnitřního výnosového procenta této alternativy je záporná. Z toho plyne, že bez provozní podpory ve formě dotované výkupní ceny elektrické energie je tento projekt výrazně neefektivní. Pokud by výkupní cena elektrické energie vzrostla, zvýší se i hodnota IRR [52].

7.4.2 Alternativa prodeje elektrické i tepelné energie

Pro posouzení zavedení této alternativy jsem vycházel ze stejných vstupních údajů jako v první variantě s přihlédnutím k předpokládaným výnosům z prodeje tepla. BPS Loucký Dvůr vyrobí za rok 5 518 208 kWh tepelné energie. Po odečtení 20 % na vlastní spotřebu je BPS schopna ročně prodat 4 414 566 kWh tepla za předpokládanou cenu 400 Kč/GJ. Výnosy z prodeje tepla by činily 6 357 tis. Kč ročně. Do výpočtu nebyla zahrnuta přeprava tepla na větší vzdálenosti, ale předpokládá se jeho prodej v nejbližším okolí BPS.

Hodnota vnitřního výnosového procenta této alternativy vychází vyšší, ale tak jako v prvním případě záporná. Tento projekt je tedy opět vysoce neefektivní.

7.4.3 Alternativa transformace BPS na BMS

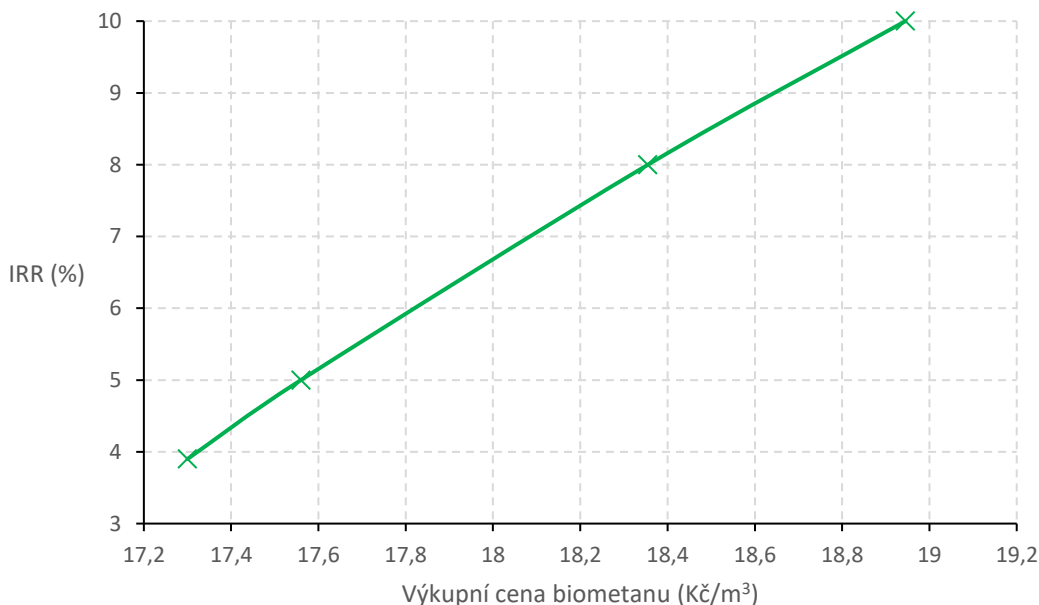
Roční produkce bioplynu v bioplynové stanici Loucký Dvůr, jak již bylo uvedeno, činí 2 288 802 m³. Zavedením nové technologie lze z vyrobeného bioplynu získat přibližně 52 % biometanu, přičemž je nutné počítat s asi 2 % ztrát. To by znamenalo zhruba 1 166 370 m³ biometanu ročně. Elektrická a tepelná energie potřebná pro provoz BMS by byla zajištěna pořízením nové kogenerační jednotky s nižším výkonem, tj. 80 kW elektrických a 120 kW tepelných, která spotřebuje cca 25 m³ biometanu za hodinu. Její cena je odhadována na 1 mil. Kč. Množství biometanu k prodeji je tedy cca 958 870 m³ ročně. Podle odborných předpokladů má technologie membránové separace cca desetiletou životnost a její roční provozní náklady činí 1,1 mil. Kč. Do výpočtu nebyla zahrnuta investice do instalace přípojky k stávající síti zemního plynu. Je třeba stanovit minimální výkupní cenu produkovaného biometanu, která by byla zárukou alespoň stejného ekonomického efektu, jaký je v dosavadním provozu. Musí být také zohledněno riziko zavedení nového projektu s novou technologií, aby měl investor motivaci k realizaci přestavby BPS na BMS. O rentabilitě zavedení výroby biometanu může rozhodnout pouze důkladná a podrobná ekonomická analýza provozu BPS, při které by byly důsledně porovnány všechny náklady a výnosy [51], [52].

Při posuzování výhodnosti zavedení této varianty jsem vycházel z odborné studie, kterou mi poskytla společnost CZ Biom. Zásadní vliv na výpočet má zejména životnost nově instalované technologie (10 let), investice do jejího zavedení (cca 34,25 mil. Kč), dále investice do oprav a údržby stávajícího zařízení na výrobu bioplynu, náklady na vstupní suroviny, náklady na dohřívání

technologie výroby biometanu a provozní výdaje. Efektivnost rekonstrukce BPS na BMS nejvýrazněji ovlivňují tyto veličiny:

- Investice do pořízení nové technologie
- Investice do nutné rekonstrukce stávající BPS
- Náklady na vstupní suroviny
- Náklady na pořízení nové kogenerační jednotky
- Provozní náklady BMS
- Výnosy z prodeje biometanu

Pro udržení hodnoty IRR v dosavadní výši 3,9 % byla vypočítána minimální výkupní cena biometanu 17,3 Kč/m³. Za těchto podmínek by byl projekt realizovatelný. Pro dosažení hodnoty IRR 5 % vychází minimální cena produkovaného biometanu 17,56 Kč/m³, pro IRR 8 % vychází cena biometanu 18,36 Kč/m³ a pro IRR 10 % vychází cena biometanu 18,95 Kč/m³. Tyto hodnoty jsou shrnuty v citlivostní analýze na obr. 6-1. Všeobecně se předpokládá růst výkupní ceny biometanu, protože jeho využívání bude bezesporu žádoucí pro splnění limitů pro podíl obnovitelných zdrojů energie na celkové spotřebě [52].



Obr. 7-1: Citlivostní analýza IRR na výkupní ceně biometanu

7.5 Porovnání

V první a druhé variantě bylo dosaženo záporného IRR, a proto je jejich zavedení neefektivní a tedy nerealizovatelné. Ve třetí variantě byla stanovena minimální výkupní cena biometanu na 17,3 Kč/m³, aby vnitřní výnosové procento tohoto projektu mělo alespoň stejnou hodnotu jako dosavadní provoz. Tato vypočtená minimální cena biometanu je však výrazně vyšší než aktuální cena zemního plynu, a proto je zavedení této alternativy možné pouze v případě dotovaných výkupních cen biometanu. Realizace přestavby BPS na BMS s sebou sice přináší množství problémů při zavádění a odlaďování provozu nové technologie a v neposlední řadě vysoké

počáteční investice, ale pokud bude garantovaná výkupní cena biometanu v dostatečné výši, stává se tento projekt efektivním a tedy realizovatelným [52].

ZÁVĚR

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou výroby a čištění bioplynu na biometan a jeho vtláčením do sítě zemního plynu jako alternativního a obnovitelného zdroje energie. Nejprve je v této bakalářské práci provedena rešerše daného tématu, ve které jsou přiblížena historická data, nejčastěji používané technologie výroby bioplynu, jejich vývoj a možnosti využití.

Pro uvedení do problematiky využití biometanu vtláčením do sítě zemního plynu bylo třeba seznámit se mimo jiné i s platnou legislativou, která toto upravuje. Bioplyn a biometan jsou moderní alternativní paliva a je nutné s nimi počítat jako s náhradou fosilních paliv, které znečišťují životní prostředí. Proto je také nesporně důležité zvýšit podíl biometanu v síti zemního plynu. Všechny vyspělé země světa se zabývají možností zvýšení podílu biopaliv na celkové spotřebě a tím omezením vlivu skleníkových plynů na naši planetu. V úvodu práce jsou rozebrány dostupné informace o bioplynu, jeho vzniku, zdrojích, výrobě, složení, čištění a možnostech využití. Dále se práce zabývá složitými postupy při výrobě biometanu, který je svými parametry srovnatelný se zemním plynem, ale jeho energetická bilance je nesrovnatelně vyšší.

V této práci je také podrobně rozebrán současný stav výroby bioplynu a biometanu. Pro přiblížení problematiky provozu a porovnání technologií používaných ve stávajících bioplynových stanicích v ČR je v této bakalářské práci částečně představena společnost ECR Rapotín. Vedoucí pracovníci BPS Rapotín nebyli ochotni sdělit pro účely této bakalářské práce jakékoli informace ohledně ekonomického hospodaření této společnosti, a proto nemohl být proveden výpočet základních finančních ukazatelů tohoto konceptu. Byla tedy oslovena BPS Loucký Dvůr. Vedoucí pracovníci její mateřské společnosti VSP Olešnice bez váhání poskytli potřebné informace, aby mohl být proveden výpočet vnitřního výnosového procenta jako ukazatele efektivity různých variant jejího budoucího provozu.

Byly zkoumány tři různé varianty pokračování provozu bioplynové stanice Loucký Dvůr po vypršení smlouvy s garantovanou výkupní cenou elektrické energie. První varianta, která předpokládala pokračování dosavadní výroby elektrické energie z bioplynu, se po výpočtu IRR ukázala jako neefektivní. Ve druhé variantě bylo kalkulováno s prodejem elektrické i tepelné energie, ale i zde bylo dosaženo záporné hodnoty IRR a její zavedení tedy není rentabilní. Ve třetí variantě byla pro zachování hodnoty IRR srovnatelné s dosavadním provozem stanovena minimální výkupní cena biometanu na 17,3 Kč/m³. Tato varianta by při garantované alespoň minimální výkupní ceně byla pro BPS Loucký Dvůr realizovatelná.

Pokud by nebyly garantovány výkupní ceny biometanu v dostatečné výši, stála by podle mého názoru za zvážení možnost pořízení dalšího plynového motoru pro BPS Loucký Dvůr. Tento motor by BPS spouštěla pouze v době nejvyšší poptávky po elektřině, a tím plnila funkci špičkového zdroje energie. Tato alternativa by za poměrně nízké investice do rozšíření úložiště vyrobeného bioplynu a pořízení dalšího plynového motoru mohla znamenat pro BPS vyšší roční příjem z prodeje elektrické energie. Tímto způsobem by řada bioplynových stanic mohla plnit funkci špičkového zdroje elektřiny a tím vyrovnávat její nedostatek v době zvýšené poptávky. Oproti větrným a fotovoltaickým elektrárnám by taková BPS nebyla závislá na meteorologických podmínkách a mohla by do sítě dodávat elektřinu, kdy je nejvíce potřeba.

Problematika, kterou se zabývá tato bakalářská práce je bezesporu velmi aktuální, ale známé postupy výroby biometanu jsou stále příliš nákladné. Jejich zavádění do praxe je potřeba tedy co

nejvíce finančně podporovat, ať už ze státních nebo evropských zdrojů, a tím upřednostnit obnovitelné a k životnímu prostředí šetrnější zdroje energie.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] BIOMETAN hospodárné užití obnovitelných zdrojů energie [online]. 1. Praha: Gas, 2012 [cit. 2019-11-09]. ISBN 978-80-7328-276-9. Dostupné z: <https://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/2201-gas-s.r.o.-biometan.pdf>
- [2] JEŘÁBKOVÁ, Julie: Metody čištění bioplynu na biometan. Biom.cz [online]. 2019-09-10 [cit. 2019-11-09]. Dostupné z WWW: < <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/metody-cistení-bioplynu-na-biometan> >. ISSN: 1801-2655.
- [3] Studie využití bioplynu pro energetickou bezpečnost a rozvoj obcí a mikroregionů. In: Česká bioplynová asociace [online]. České Budějovice: Česká bioplynová asociace, 2014 [cit. 2019-11-09]. Dostupné z: <https://www.czba.cz/projekty/posuzovani-moznosti-vyuziti-bioplynu-pro-energetickou-bezpecnost-a-rozvoj-obci-a-mikroregionu.html>
- [4] KUDLÁČ, Adam. Zpracování bioplynu. Brno, 2009. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.
- [5] FRÜHBAUER, Zdeněk. Využití bioplynu v plynárenské síti. Brno, 2012. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.
- [6] NĚMEC, Jan. Čištění bioplynu na kvalitu zemního plynu. Brno, 2012. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.
- [7] HŘEBÍČEK, Martin. Nízkoteplotní úprava bioplynu. Brno, 2011. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.
- [8] Obnovitelné zdroje elektrické energie. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.
- [9] Sekce legislativní. Český plynárenský svaz [online]. Praha: Český plynárenský svaz, ©2017 [cit. 2019-11-18]. Dostupné z: <https://www.cgoa.cz/ls.o-sekci/?backlink=w69dc&fbclid=IwAR1VzkfFGJ0OMUYFPuvVYj8H3mHdfBvId6Irwt2XzDVIWN4bG1vPXm2raBk>
- [10] Biometan jako palivo budoucnosti? Česká bioplynová asociace [online]. České Budějovice: Česká bioplynová asociace, 2014 [cit. 2019-11-18]. Dostupné z: <https://www.czba.cz/aktuality/biometan-jako-palivo-budoucnosti.html?fbclid=IwAR2GpCx9NJtRUHzI4IKehvY24ZVD9hv-bWDtFEpy2tW-Yt6s14Zg6Q5MsMc>
- [11] SVOBODA, Jan. Vliv membránové separace bioplynu na stávající provoz bioplynové stanice. Brno, 2016. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.
- [12] Aktuality. Český plynárenský svaz [online]. Praha: Český plynárenský svaz, 2017 [cit. 2019-11-18]. Dostupné z: <https://www.cgoa.cz/aktuality/?backlink=w69dc&fbclid=IwAR13iBzSknApyvctryynXaWwWnXi79pQ6ki-svVYdaww8dPf5zWOPUvFbMF4>
- [13] Co je bioplyn? Česká bioplynová asociace [online]. České Budějovice: Česká bioplynová asociace, 2017 [cit. 2019-11-18]. Dostupné z: <https://www.czba.cz/bioplyn.html?fbclid=IwAR2CusLgBBI7CslIjtUcHWnCpHwiirU1Nto59CQ7HnYaXJ0Y3JD7HgMCMv8>

- [14] IRENA (2018), Biogas for road vehicles: Technology brief, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. ISBN 978-92-9260-060-0. Dostupné z: <https://www.irena.org/publications/2017/Mar/Biogas-for-road-vehicles-Technology-brief>
- [15] ANGELIDAKI, TREU, CAMPARANO. Biogas upgrading and utilization: Current status and perspectives. *Biotechnology Advances* [online]. 2018. 452-466 [cit. 2020-01-20]. Dostupné z: <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.lib.vutbr.cz/science/article/pii/S0734975018300119>
- [16] Optimalizace a regulace OZE. In: Česká bioplynová asociace [online]. České Budějovice: Česká bioplynová asociace, 2010 [cit. 2020-01-20]. Dostupné z: <https://www.czba.cz/projekty/optimalizace-a-regulace-oze.html>
- [17] Vtláčení biometanu do plynárenské soustavy. Požadavky na kvalitu a měření. In: Český plynárenský svaz [online]. Praha: Český plynárenský svaz, 2019 [cit. 2020-01-20]. Dostupné z: https://www.cgoa.cz/ts/pdfdoc/pripominkovazeni/TDG_983_01_KN_5_6_2019.pdf
- [18] Budoucnost plynárenství je spojena s využitím vodíku, biometanu a obnovitelných zdrojů. In: Český plynárenský svaz [online]. Praha: Český plynárenský svaz, 2019 [cit. 2020-01-20]. Dostupné z: https://www.cgoa.cz/pages/pdfdoc/aktuality/2019/ti_ppk2019.pdf
- [19] První výrobu biometanu v České republice spustilo Energetické centrum recyklace Rapotín. In: Crest communications [online]. Praha: Energy financial group, 2019 [cit. 2020-01-20]. Dostupné z: <http://www.crestcom.cz/cz/tiskova-zprava/?id=2355&fbclid=IwAR33Ubn7-t0TuOH3HUIfJx1-1EuYBxoNRdi-0aTG-Hra9XSJM6lKSQynx-w>
- [20] Energetická efektivnost bioplynových stanic. In: Česká bioplynová asociace [online]. České Budějovice: Česká bioplynová asociace, 2012 [cit. 2020-01-20]. Dostupné z: <https://www.czba.cz/files/ceska-bioplynova-asociace/uploads/files/EnEfBPS-komplet.pdf>
- [21] VSP Group [online]. VSP Group, ©2011 [cit. 2020-01-20]. Dostupné z: <https://www.vspgroup.cz/sluzby/bioplynova-stanice/odborne-clanky/>
- [22] Produkce bioplynu v bioplynových stanicích a čistírnách odpadních vod a její intenzifikace [online]. Profi Press, 2006 [cit. 2020-03-02]. Dostupné z: <https://www.odpady-online.cz/produkce-bioplynu-v-bioplynovych-stanicich-a-cistirnach-odpadnich-vod-a-jeji-intenzifikace/?fbclid=IwAR2sx9-5zmESnrL5HAY9jpthwTBH0H-0fYxmCKWkohDkFJ3j0I9cysdG3mE>
- [23] Obnovitelné zdroje energie v roce 2018 [online]. In: . Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2019 [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statistika/obnovitelne-zdroje-energie/2019/11/Obnovitelne-zdroje-energie-2018_1.pdf
- [24] GUTOVSKÝ, Jan. Využití biomethanu v evropském regionu [online]. Brno, 2012 [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=57901. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.
- [25] Energetické centrum recyklace Rapotín [online]. In: . Brno: Energetické centrum recyklace Rapotín, 2019 [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <http://www.caobh.cz/soubory/ef-group-tomas-voltr-energeticke-centrum->

- rapotin.pdf?fbclid=IwAR1q4OIAe3IJRXYDRsTjcDFaN2tF6xLmmyWdYglu-j4aJNA60mkxv4iqnus
- [26] ŠŤASTNÁ, Jarmila: Bioodpad se promění na energii a hnojivo. Biom.cz [online]. 2019-07-03 [cit. 2020-03-30]. Dostupné z WWW: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioodpad-se-promeni-na-energii-a-hnojivo?fbclid=IwAR23koGBP6LE-kew_2COPCERUMZic7qBJ3PrwchCNPeh0Ni3GgQdbEGXkew>. ISSN: 1801-2655.
- [27] SHERRARD, Alan, JEŘÁBKOVÁ, Julie: E.ON otevřel největší švédskou bioplynovou stanici na suchou fermentaci. Biom.cz [online]. 2019-04-08 [cit. 2020-03-30]. Dostupné z WWW: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/e.on-otevrel-nejvetsi-svedskou-bioplynovou-stanici-na-suchou-fermentaci?fbclid=IwAR22qY6d_tfkKTTWsIO_e6KpvWuW3yIYGMtuxdpvgvix4MutwhD75eUpVJg>. ISSN: 1801-2655.
- [28] JEŘÁBKOVÁ, Julie: Podpora tepla v Nizozemsku. Biom.cz [online]. 2017-09-06 [cit. 2020-03-30]. Dostupné z WWW: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/podpora-tepla-v-nizozemsku?fbclid=IwAR1fj6nZfIvuekwyt2kEheqaKaAYCq_2lBXpm2R_jfF7YIpB5OIz3GP9-is>. ISSN: 1801-2655.
- [29] Sleva pro členy CzBA na konferenci Future of Biogas 2019. In: Česká bioplynová asociace [online]. České Budějovice: Česká bioplynová asociace, 2019 [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: https://www.czba.cz/aktuality/sleva-pro-cleny-czba-na-konferenci-future-of-biogas-2019.html?fbclid=IwAR0CFg0e2awVIZQEHLc_qfn9qquFfx8Ao1j0eAkccBKENyK1yMxmf5u6roU
- [30] BAČÍK, Ondřej: EnviTec Biogas potvrzuje pozici evropského lídra v oboru bioplyn. Biom.cz [online]. 2008-12-03 [cit. 2020-03-30]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/envitec-biogas-potvrzuje-pozici-evropskeho-lidra-v-oboru-bioplyn?fbclid=IwAR0TeEcnEhEkbkctNTqDSR1D2f2TiaeTeR4wNiY8zQR-1Dbnf2LRGRw9PuY>>. ISSN: 1801-2655.
- [31] Hodnocení výroby elektřiny z bioplynu v roce 2019. In: NovaEnergio [online]. Praha, 2020 [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://www.novaenergo.cz/clanky/hodnoceni-vyroby-elektřiny-z-bioplynu-v-roce-2019?fbclid=IwAR2M0zj2Av14Xr3ksQpp8g-9tNg9t5VQ3xRRjG6g42dPAiHNS-2YcrmUR4w>
- [32] Nizozemská mléčná farma vtláčí biometan z odpadů živočišné produkce do sítě. In: NovaEnergio [online]. Praha, 2015 [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: https://www.novaenergo.cz/clanky/nizozemska-mlecna-farma-vtlaci-biometan-z-odpadu-zivocisne-produkce-do-site?fbclid=IwAR1eneDcLqXDHF_5uIdrJwlHaWLZmsdIa-ehta4HDBCAIkJ5y-sqSA1swFs
- [33] SMATANOVÁ, Michaela. Bioplynové stanice. In: Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský [online]. 2012 [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/file/214721/_2_BPS.pdf?fbclid=IwAR0f892N-S15vV_YTsQIliXoaK2Wix2Emjl9xTXIOCQNGk0KdZ3n3SspwnI
- [34] Predikce výroby bioplynu v Evropě se zásadně liší. O energetice [online]. Třebíč: oEnergetice, 2019 [cit. 2020-04-11]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/plyn/predikce-vyroby-bioplynu-evrope-se-zasadne-lisi?fbclid=IwAR179tkuZTAQfDtGR8x2J74HpigfkUFE8EI6RA2U4qtn7eheue-E5sIcAbU>

- [35] Technologický foresight 2020 – 2040. In: Česká bioplynová asociace [online]. České Budějovice: Česká bioplynová asociace, 2017 [cit. 2020-04-11]. Dostupné z: http://www.czba.cz/files/ceska-bioplynova-asociace/uploads/files/Technologicky_foresight.pdf?fbclid=IwAR0zqxMJ7AMMOXOVojAOGIRgS270RL58ZsNDB-mG8m7xwbbO7HcN6kNw5KU
- [36] Biometan jako náhrada zemního plynu pro vytápění v ČR. TZBinfo [online]. TZB-info, 2020 [cit. 2020-04-13]. Dostupné z: https://vytapani.tzb-info.cz/vytapime-plynem/20293-biometan-jako-nahrada-zemniho-plynu-pro-vytapani-v-cr?fbclid=IwAR19PnhBsFxAO2CAHN25gm6aDFr8arMnPFBFXCJAax1n_sAwL1OGZbAk3rc
- [37] Poprvé v Česku – biometan v plynárenské distribuční síti. GasNet [online]. Ústí nad Labem: GasNet, 2019 [cit. 2020-04-13]. Dostupné z: <https://www.gasnet.cz/cs/archiv-novinek-2019-poprve-v-cesku-biometan-v-plynarenske-distribucni-siti/?fbclid=IwAR296Ag7GJveNas40DiHMn5PVtNaKI23mSjLPhP8v1NohuUtCv-vrRrVwvg>
- [38] Bude zemní plyn nahrazen ekologickým biometanem i v českých domácnostech? Epet [online]. Praha: EP Energy Trading, 2019 [cit. 2020-04-13]. Dostupné z: https://www.epet.cz/bude-zemni-plyn-nahrazen-ekologickym-biometanem-i-v-ceskych-domacnostech-/?fbclid=IwAR26p_jxbIwqKfEA-8nVWDP-SP0aN3jHhvZ7ZXOee2XtFCeN1kNRAuCytm
- [39] Úprava bioplynu na biometan. Mega [online]. Praha, 2020 [cit. 2020-04-13]. Dostupné z: <https://www.mega.cz/cs/plyny/?fbclid=IwAR1U6Fl43mFnVsUoJyf7QceD2jjR447tqxQLiCdQsWKNiIdj67McFSgAmZg>
- [40] TRNAVSKÝ, Jiří. Novou šancí je výroba biometanu. Energie21 [online]. Profi Press, 2019 [cit. 2020-04-13]. Dostupné z: https://www.energie21.cz/biometan-je-alternativa-hlavne-v-doprave-2/?fbclid=IwAR2zr3PIEYsvZfHzOTAnO6w-5H_4L-y2TCia-SwLFxWpZPP-hMfFoX82iqQ
- [41] V Praze se bude biometan z čističky odpadních vod vtláčet do plynovodu. TZBinfo [online]. 2019 [cit. 2020-04-13]. Dostupné z: https://vytapani.tzb-info.cz/vytapime-plynem/19854-v-praze-se-bude-biometan-z-cisticky-odpadnich-vod-vtlacet-do-plynovodu?fbclid=IwAR2-DuDPOEwO5vnkQjPo6DMk0WnwThptbJyma-q_VP0PVivF8humQDA6Eb8
- [42] BROŽ, Jan. Jízda na zelený plyn, Česko vsadí na biometan. Euro [online]. Praha: Mladá fronta, 2019 [cit. 2020-04-13]. Dostupné z: <https://www.euro.cz/byznys/jizda-na-zeleny-plyn-1450691?fbclid=IwAR2za-hPVluSR2bIuQ82-FGzadTG0E7oneJ9Rq4n3QHJSV3QMnVrRsUxul>
- [43] Polsko vsadí na biometan. Wnp [online]. 2019 [cit. 2020-04-13]. Dostupné z: https://www.wnp.pl/nafta/polska-postawi-na-biometan-ministerstwo-energii-szykuje-zmiany,347213.html?fbclid=IwAR2qzPtoK4HSry9FqNQA8_T1-R3pyzNBgS9DvnM_IyCa2iGSC2afA8r1rls
- [44] Ministerstvo průmyslu a obchodu dotačně podpoří úpravu bioplynu na biometan. Průmyslová ekologie [online]. Praha, 2019 [cit. 2020-04-13]. Dostupné z: <https://www.prumyslovaekologie.cz/info/ministerstvo-prumyslu-a-obchodu-dotacne->

- podpori-upravu-bioplynu-na-biometan?fbclid=IwAR1A-ooBA3yxYNiEwFnQBwsbf8K0dX3xYNIDXgtRGd07k8--DHsmDE4h3ms
- [45] Jak se to dělá jinde - Švýcarsko. CNG+ [online]. 2019 [cit. 2020-04-13]. Dostupné z: http://www.cngplus.cz/novinky/jak-se-to-dela-jinde-svycarsko.html?fbclid=IwAR1zAhIeIR_KYAD-E9gxmQRemVWbUrVGXt3zuE_AAh3IDdytu_BmIGTNDyg
- [46] MORAVEC, Adam: Biometan a syntézní plyn jsou další cesty ke zvyšování podílu OZE. Biom.cz [online]. 2018-12-20 [cit. 2020-04-13]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/biometan-a-syntezeni-plyn-jsou-dalsi-cesty-ke-zvysovani-podilu-oze?fbclid=IwAR1lR0KXgQ7kF4EMmRYmYJbC8WRlwciALDJA53vL82uoIaSClmUQ3zXQD0Y>>. ISSN: 1801-2655.
- [47] První výrobu biometanu v České republice spustilo Energetické centrum recyklace Rapotín. Průmyslová ekologie [online]. Praha, 24. 10. 2019 [cit. 2020-05-01]. ISSN 2570-9372. Dostupné z: <https://www.prumyslovaekologie.cz/info/prvni-vyrobnu-biometanu-v-ceske-republice-spustilo-energeticke-centrum-recyklace-rapotin?fbclid=IwAR3ZpDWEF8sgKG8XB3uHegluRIG1gqj6vkxpolg7xJPLbOzi2V5-PoxBTY4>
- [48] KOZE: Biometan může do roku 2030 nahradit plyn ve čtvrtině domácností. O energetice [online]. Třebíč: oEnergetice, 2019 [cit. 2020-05-01]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/koze-biometan-muze-do-roku-2030-nahradit-plyn-ve-ctvrtine-domacnosti?fbclid=IwAR0nVPrkaMx-cmdiB7bsboQIYFZOw2lG4JT4k6xh5S5jVT0Q0ljFcViJ1uk>
- [49] Cimrman se mylil, budoucnost nepatří aluminu, ale bioCNG. V České Lípě již slavnostně natankovali. Genus [online]. Liberec, 2019 [cit. 2020-05-01]. Dostupné z: https://genus.cz/vice-temat/regionalni-um/cimrman-se-mylil-budoucnost-nepatri-aluminu-ale-biocng-v-ceske-lipe-jiz-slavnostne-natankovali-n468605.htm?fbclid=IwAR1RtoL6v-d3etwwAD9Qiu43_2-NuF3CTIRBOic4xiNJzaQJaq3doPM6njQ
- [50] BioCNG. In: Farmtec [online]. Jistebnice, ©2018 [cit. 2020-05-01]. Dostupné z: https://www.farmtec.cz/biocng-833.html?fbclid=IwAR3j8npvsiaxH9k2m6xRGNwNVinLpza671It_dOjP16-URBnUFFtn8ywwyw
- [51] SVOBODA, Jan. Vliv membránové separace bioplynu na stávající provoz bioplynové stanice [online]. Brno, 2016 [cit. 2020-05-01]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/60803>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Energetický ústav. Vedoucí práce Martin Lisý.
- [52] Prof. Ing. J. Knápek, CSc., Doc. Ing. J. Vašíček, CSc. a Ing. Martin Beneš, Ph.D. Konstrukce výchozího modelu pro posouzení ekonomické efektivity transformace stávajících BPS na biometanové stanice. Praha: ČVUT FEL, 2019.